

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Avaliação do Desempenho Energético de Edifícios da Administração Central

Henrique Manuel do Carmo Ferreira Fernandes

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e Ambiente

Dissertação orientada por:

Professora Doutora Marta Oliveira Panão

Co-orientador:

Doutor Pedro Costa

2017

Agradecimentos

Aos responsáveis da empresa TurnAround Consulting, pela oportunidade de realizar um estágio na área da eficiência energética em edifícios no âmbito da dissertação de mestrado e por todo o apoio dado na elaboração deste documento. Gostaria igualmente de agradecer ao Eng.º Fernando Basto pela sua disponibilidade e transmissão de conhecimentos e ao Dr.º Pedro Costa por se disponibilizar a co-orientar a minha dissertação de mestrado.

À Prof.ª Dr.ª. Marta Panão pela disponibilidade em acompanhar esta dissertação de mestrado e por toda a ajuda prestada na elaboração do presente documento nomeadamente no encaminhamento e estrutura do mesmo.

À minha família que com muita paciência sempre me apoiou e motivou tanto ao longo da construção deste documento como em todo o curso.

Aos meus amigos pela compreensão e apoio disponibilizados mesmo nos períodos em que me tinha de centrar mais na elaboração deste documento prescindindo de alguns bons momentos.

Resumo

O sector dos edifícios é um dos principais consumidores de energia na União Europeia, apresentando grandes potencialidades em termos de poupanças energéticas. A União Europeia em conjunto com os estados membros tem promovido políticas de eficiência energética de forma a reduzir esse consumo de energia. Estas políticas em Portugal têm incidido em edifícios pertencentes ao estado que financia a maior parte dos investimentos em medidas de eficiência energética aplicadas aos seus edifícios. No presente trabalho pretende-se analisar um conjunto de edifícios pertencentes à administração central do estado português através de índices de consumo de energia e das potenciais poupanças energéticas de cada um desses edifícios procurando saber quais são os edifícios que mais beneficiam em termos de poupança de energia da aplicação de medidas de eficiência energética.

A utilização dos índices de consumo de energia por tipologia de edifício revelou que o índice de consumo de energia por área de pavimento de edifício possui algumas limitações pois tem em conta toda a área de pavimento do edifício e não apenas as áreas onde efectivamente ocorre consumo de energia enquanto através do índice de consumo de energia por ocupante se verificou que a maioria dos edifícios possui consumos de energia por ocupante superiores ao de um edifício típico. As potenciais poupanças estimadas de energia são maiores em edifícios de construção antigos mas devem ser analisadas caso a caso. O cruzamento dos índices de consumo de energia por ocupante com as potenciais poupanças estimadas de energia permite visualizar a influência que o comportamento dos ocupantes do edifício tem no seu consumo de energia. Esta observação é notória nos edifícios após as medidas de eficiência energética pois continuam a apresentar, na maior parte dos casos, valores de índice de consumo de energia por ocupante superior ao de um edifício típico da sua tipologia.

Palavras-chave: eficiência energética, avaliação energética, poupanças.

Abstract

The building sector is one of the main energy consumers in the European Union, presenting great potential in terms of energy savings. The European Union together with the member states have promoted energy efficiency policies in order to reduce this energy consumption. These policies in Portugal have focused on buildings belonging to the state that finance the majority of investments in energy efficiency measures applied to their buildings. In the present work we intend to analyze a group of buildings belonging to the central administration of the Portuguese state through indices of energy consumption and the potential energy savings of each of these buildings seeking to know which buildings benefit most in terms of energy from the application of energy efficiency measures.

The use of energy consumption indexes by building typology revealed that the energy consumption index per building floor area has some limitations because it takes into account the entire floor area of the building and not only the areas where there is occurrence of energy consumption, while through the index of energy consumption per occupant, it was verified that most of the buildings have energy consumptions per occupant higher than that of a typical building. Potential estimated energy savings are greater in older construction buildings but should be analyzed on a case-by-case basis. Crossing the energy consumption indices by occupant with the potential estimated energy savings allows visualizing the influence that the occupants' behavior has on their energy consumption. This observation is notorious in buildings after the energy efficiency measures because they continue to present, in most cases, values of energy consumption index per occupant higher than that of a building typical of its typology.

Keywords: energy efficiency, energy assessment, savings

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract	iv
Índice.....	v
Índice de figuras	viii
Índice de tabelas	xi
Simbologia e notações.....	xii
1 Introdução	13
1.1 Enquadramento e motivação	13
1.2 Objectivos	14
1.3 Metodologia	15
1.4 Estrutura do Trabalho.....	15
2 Metodologia de Cálculo Aplicada.....	16
2.1 Análise das Facturas de Energia.....	16
2.1.1 Electricidade.....	16
2.1.2 Gás Natural.....	17
2.1.3 Gás Propano	17
2.1.4 Nafta.....	17
2.2 Desagregação de Consumos.....	17
2.2.1 Iluminação.....	18
2.2.2 Climatização.....	18
2.2.3 Águas Quentes Sanitárias.....	19
2.2.4 Outros Consumos	20
2.3 Poupanças de Energia.....	21
2.3.1 Iluminação.....	21
2.3.2 Envolvente do Edifício.....	21
2.3.3 Sistemas de Climatização.....	22
2.3.4 Sistemas de Preparação de Águas Quentes Sanitárias	23
3 Casos de Estudo	25
3.1 Entidade C.....	25
3.1.1 Caracterização Geral	25
3.1.1.1 Edifício C.1	25
3.1.1.2 Edifício C.2	25
3.1.1.3 Edifício C.3	25
3.1.2 Descrição da Envolvente	26
3.1.2.1 Edifício C.1	26
3.1.2.2 Edifício C.2	26

3.1.2.3	Edifício C.3	26
3.1.3	Consumo de Energia	26
3.1.3.1	Edifício C.1	26
3.1.3.2	Edifício C.2	28
3.1.3.2.1	Electricidade.....	28
3.1.3.2.2	Gás Natural.....	28
3.1.3.3	Edifício C.3	29
3.1.3.3.1	Electricidade.....	29
3.1.3.3.2	Nafta.....	30
3.1.4	Desagregação dos Consumos de Energia.....	30
3.1.4.1	Edifício C.1	31
3.1.4.2	Edifício C.2	31
3.1.4.3	Edifício C.3	32
3.1.5	Consumo de Energia em Iluminação.....	32
3.1.5.1	Edifício C.1	33
3.1.5.2	Edifício C.2	33
3.1.5.3	Edifício C.3	34
3.1.6	Consumo de Energia em Climatização	34
3.1.6.1	Edifício C.1	34
3.1.6.2	Edifício C.2	35
3.1.6.3	Edifício C.3	37
3.2	Entidade D.....	38
3.2.1	Caracterização Geral	38
3.2.2	Descrição da Envolvente.....	38
3.2.3	Consumo de Energia	39
3.2.4	Desagregação dos Consumos de Energia.....	40
3.2.5	Consumo de Energia em Iluminação.....	41
3.2.6	Consumo de Energia em Climatização	41
4	Apresentação, análise e discussão de resultados	43
4.1	Comparação de Edifícios	43
4.1.1	Características Gerais dos Edifícios Estudados.....	43
4.1.2	Comparação dos Edifícios de Acordo com a Sua Tipologia.....	43
4.1.2.1.1	Tipologia de Laboratório.....	44
4.1.2.1.2	Tipologia de Piscinas.....	45
4.1.2.1.3	Tipologia de Escritório.....	47
4.1.2.1.4	Tipologia de Estabelecimento de Ensino Superior.....	48
4.1.2.1.5	Tipologia de Residência	50
4.1.3	Nível de Eficiência Energética dos Edifícios Estudados.....	53
4.2	Medidas de Eficiência Energética	54

4.2.1	Iluminação.....	54
4.2.2	Envolvente dos Edifícios.....	55
4.2.2.1.1	Fachada dos Edifícios.....	55
4.2.2.1.2	Cobertura dos Edifícios.....	57
4.2.2.1.3	Vãos Envidraçados dos Edifícios.....	59
4.2.2.1.4	Poupanças Globais Estimadas da Envolvente dos Edifícios	61
4.2.3	Equipamentos de Climatização	62
4.2.4	Equipamentos de Produção de Águas Quentes Sanitárias	64
4.2.5	Poupanças Totais Estimadas de Energia	65
4.3	Comparação dos índices de Consumo com as Poupanças Estimadas	66
5	Conclusões do trabalho	68
6	Referências Bibliográficas	69

Índice de figuras

Figura 1: Consumo mensal de energia eléctrica do Edifício C.1.....	27
Figura 2: Distribuição dos consumos por períodos horários.....	27
Figura 3: Ciclo diário para baixa tensão especial dos períodos de hora legal de Inverno e Verão e período diário de funcionamento do edifício.....	27
Figura 4: Consumo mensal de energia eléctrica do Edifício C.2.....	28
Figura 5: Consumo mensal de gás natural do Edifício C.2.....	29
Figura 6: Consumo mensal de energia eléctrica do Edifício C.3.....	29
Figura 7: Distribuição dos consumos por períodos horários.....	30
Figura 8: Ciclo diário para baixa tensão especial dos períodos de hora legal de Inverno e Verão e período diário de funcionamento do edifício.....	30
Figura 9: Gráfico da desagregação estimada dos consumos de energia por utilização do Edifício C.1.....	31
Figura 10: Gráfico da desagregação estimada dos consumos de energia por utilização do Edifício C.2.....	32
Figura 11: Gráfico da desagregação estimada dos consumos de energia por utilização do Edifício C.3.....	32
Figura 12: Tipo e quantidade de lâmpadas existentes no Edifício C.1.....	33
Figura 13: Tipo e quantidade de lâmpadas existentes no Edifício C.2.....	33
Figura 14: Tipo e quantidade de lâmpadas existentes no Edifício C.3.....	34
Figura 15: Consumos mensais estimados de energia em climatização em comparação com o consumo mensal total de energia eléctrica do Edifício C.1.....	35
Figura 16: Distribuição estimada do consumo anual de energia em climatização do Edifício C.1.....	35
Figura 17: Consumos mensais estimados de energia em climatização em comparação com o consumo mensal total de energia eléctrica do Edifício C.2.....	36
Figura 18: Distribuição estimada do consumo anual de energia em climatização do Edifício C.2.....	36
Figura 19: Consumos mensais estimados de energia em climatização em comparação com o consumo mensal total de energia eléctrica do Edifício C.3.....	37
Figura 20: Distribuição estimada do consumo anual de energia em climatização do Edifício C.3.....	38
Figura 21: Consumo mensal de energia eléctrica da Entidade D.....	39

Figura 22: Distribuição dos consumos por períodos horários.....	39
Figura 23: Ciclo diário para baixa tensão especial dos períodos de hora legal de Inverno e Verão e período diário de funcionamento do edifício.....	40
Figura 24: Gráfico da desagregação estimada dos consumos de energia por utilização da Entidade D.....	40
Figura 25: Tipo e quantidade de lâmpadas existentes no edifício da Entidade D.....	41
Figura 26: Consumos mensais estimados de energia em climatização em comparação com o consumo mensal total de energia da Entidade D.....	42
Figura 27: Distribuição estimada do consumo anual de energia em climatização da Entidade D.....	42
Figura 28: Índices de consumo específico de energia dos edifícios caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de laboratório. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.....	44
Figura 29: Índices de consumo específico de energia por ocupante dos edifícios caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de laboratório. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.....	45
Figura 30: Índices de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de piscina. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.....	46
Figura 31: Índices de consumo específico de energia por ocupante dos edifícios caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de piscina. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.....	46
Figura 32: Índices de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de escritório. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.....	47
Figura 33: Índices de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de escritório. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.....	48
Figura 34: Indicadores de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de estabelecimentos de ensino superior. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores	

muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes. 49

Figura 35: Índices de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de estabelecimento de ensino superior. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes. 50

Figura 36: Índices de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de residência. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes. 51

Figura 37: Indicadores de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de estabelecimento de ensino superior. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes. 52

Figura 38: Poupança estimada de energia em iluminação para os edifícios caso de estudo através da substituição da iluminação existente por iluminação eficiente. 55

Figura 39: Poupança estimada de energia resultante da colocação de isolamento térmico exterior na fachada dos edifícios caso de estudo. 57

Figura 40: Poupança estimada de energia resultante da colocação de isolamento térmico na cobertura dos edifícios caso de estudo. 59

Figura 41: Poupança estimada de energia resultante da substituição dos vãos envidraçados existentes nos edifícios caso de estudo por outros mais eficientes. 61

Figura 42: Poupança global estimada de energia através da melhoria da qualidade térmica da envolvente dos edifícios. 62

Figura 43: Poupança estimada em climatização através da substituição dos equipamentos de climatização pouco eficientes por outros de melhor desempenho energético. 63

Figura 44: Poupança estimada de energia na produção de águas quentes sanitárias através da substituição dos equipamentos existentes nos edifícios caso de estudo por outros de melhor desempenho energético. 64

Figura 45: Poupanças totais estimadas para os edifícios caso de estudo após a substituição dos equipamentos pouco eficientes existentes por equipamentos eficientes e a melhoria térmica dos elementos da envolvente dos edifícios estudados. 65

Índice de tabelas

Tabela 1: Lâmpadas existentes nos edifícios caso de estudo e respectivas lâmpadas equivalentes em LED.	18
Tabela 2: Valores nominais de rendimento padrão para os equipamentos de produção de águas quentes sanitárias [23].	19
Tabela 3: Número anual de dias de consumo de águas quentes sanitárias [23].	20
Tabela 4: Valores padrão do Coeficiente de Desempenho e índice de Eficiência Energética de equipamentos eléctricos de climatização.	23
Tabela 5: Valores padrão do Coeficiente de Desempenho e índice de Eficiência Energética de equipamentos eléctricos de climatização.	23
Tabela 6: Características gerais dos edifícios estudados.	43
Tabela 7: Tabela resumo dos valores dos índices de eficiência energética e respectivo número de edifícios por classe de comparação com os edifícios típico e eficiente por tipologia.	53
Tabela 8: Tipo e quantidades de lâmpadas existentes nos edifícios caso de estudo. As cores expressas na tabela correspondem aos tipos de potências, em Watts, das lâmpadas. As lâmpadas que possuem maior potência estão seleccionadas a vermelho enquanto as lâmpadas com menor potência estão seleccionadas a verde-escuro.	54
Tabela 9: Constituição dos tipos de fachada existente nos edifícios caso de estudo antes e depois da aplicação de isolamento térmico exterior e respectivos valores dos coeficientes de transmissão térmica (U) expressos em $Wm^2 \cdot K$	56
Tabela 10: Constituição da cobertura existente nos edifícios caso de estudo antes e depois da aplicação de isolamento térmico e respectivos valores dos coeficientes de transmissão térmica (U) expressos em $Wm^2 \cdot K$	58
Tabela 11: Constituição dos vãos envidraçados existentes nos edifícios caso de estudo antes e depois da instalação de vãos envidraçados eficientes e respectivos valores dos coeficientes de transmissão térmica (U) expressos em $Wm^2 \cdot K$	60
Tabela 12: Tipo de equipamentos existentes e número de compartimentos que climatizam nos edifícios caso de estudo. O chiller/bomba de calor existente no edifício F.1 já é um equipamento eficiente e faz calor e frio.	63
Tabela 13: Tipo de equipamento existente para a preparação de águas quentes sanitárias e o seu respectivo tipo de consumo e quantidade.	64
Tabela 14: Quadro síntese dos índices de consumo de energia e das poupanças totais estimadas dos edifícios caso de estudo.	66

Simbologia e notações

AQS	Águas Quentes Sanitárias
BTE	Baixa Tensão Especial
COP	Coefficient of Performance
EER	Energy Efficiency Ratio
EPS	Poliestireno Expandido Moldado
ETICS	External Thermal Insulation Composite System
LED	Light Emitting Diode
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
MT	Média Tensão
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
nZEB	Nearly Zero-Energy Building
PO SEUR	Programa Operacional de Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos
UE	União Europeia
VRV	Bomba de Calor de Volume de Refrigerante Variável
XPS	Poliestireno Expandido Extrudido

1 Introdução

1.1 Enquadramento e motivação

O sector dos edifícios é o segundo maior consumidor final de energia da União Europeia, correspondendo o seu consumo a 40% da energia total consumida e a 36% de todas as emissões de CO_2 [1,2]. De forma a fazer face a esta realidade estabeleceu-se como objectivo através da directiva 2010/31/EU, relativa ao desempenho energético dos edifícios, que todos os novos edifícios têm de ser de balanço de energia quase zero (nZEB) a partir de 2020, enquanto os novos edifícios públicos devem dar o exemplo, cumprindo este requisito com dois anos de antecedência [3]. O sector público dos estados membros é responsável por 19% do total do produto interno bruto da União Europeia, o que o torna num importante impulsionador para o desenvolvimento do mercado de produtos, edifícios e serviços mais eficientes e da mudança de comportamento no consumo de energia por parte dos cidadãos e das empresas, por isso o relevo que foi dado a este sector na directiva 2012/27/EU [4]. O desenvolvimento de políticas, medidas financeiras e outros instrumentos que promovam a renovação de todo o edificado existente em edifícios de balanço de energia quase zero, por parte dos estados membros é incentivado pela Comissão Europeia [3]. Em Portugal foi assinado um acordo de parceria com a Comissão Europeia, que se designa por Portugal 2020, que corresponde a um programa de fundos europeus estruturais e de investimento e se divide em quatro programas operacionais temáticos entre eles o Programa Operacional de Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (PO SEUR) [5]. Entre as áreas de intervenção deste programa estão os edifícios da administração central [6].

Um edifício com necessidades quase nulas de energia, segundo a directiva europeia sobre o desempenho energético dos edifícios, corresponde a um edifício com um desempenho energético muito elevado e cujas necessidades de energia são muito pequenas ou quase nulas num ano típico [7,8]. De referir que a exacta definição de edifício com necessidades quase nulas de energia é responsabilidade de cada estado membro da União Europeia e reflecte as condições nacionais, regionais ou locais de cada estado [9]. No caso da legislação portuguesa os edifícios com necessidades quase nulas de energia são edifícios que possuem um elevado desempenho energético e em que a satisfação das necessidades de energia resulte em grande medida de energia proveniente de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades [10].

A energia despendida para manter as condições de conforto interiores nos edifícios na União Europeia correspondem a 66% da energia total consumida no sector residencial e a 39% da energia total no sector dos serviços [11]. Dado que uma fatia importante desse consumo de energia é devido à transmissão de calor através da envolvente do edifício, significa que a constituição da envolvente do edifício tem uma grande influência no desempenho energético do mesmo [12]. A solução usada para reduzir os ganhos ou perdas de calor por transmissão na envolvente dos edifícios, por norma, costuma ser a utilização de materiais isolantes com resistências térmicas elevadas tendo em conta determinadas limitações como por exemplo os custos financeiros ou a espessura das paredes [12]. Os isolamentos térmicos que tradicionalmente costumam ser utilizados nos edifícios correspondem à lã mineral, poliuretano, e os poliestirenos expandido ou extrudido devido à sua baixa condutividade térmica [12]. Uma solução bastante implementada na Europa em edifícios existentes, como é o caso dos edifícios estudados, para aumentar a sua eficiência energética é a colocação de sistemas de isolamento térmico exterior (ETICS) na sua envolvente opaca [13]. Estima-se que esta medida resulte num decréscimo de procura de energia de 64% no Verão e de 37% no Inverno [11]. Estes sistemas são escolhidos em detrimento de outras soluções pois melhoram significativamente o conforto térmico dos edifícios, evitam o risco de condensação interna e por razões estéticas funcionais [14]. Os vãos envidraçados são os elementos da envolvente opaca do edifício que mais atenção exigem, durante o projecto, a sua instalação e o seu funcionamento, pois tanto as perdas de calor para o exterior durante a estação de aquecimento como os ganhos solares na estação de

arrefecimento têm uma grande influência no comportamento térmico dos edifícios [15]. De notar que as perdas de calor por transmissão nos vãos envidraçados correspondem a 30 – 50% da energia perdida pela envolvente dos edifícios, portanto uma optimização no projecto dos vãos envidraçados pode resultar numa poupança de energia significativa [14]. A orientação dos vãos envidraçados, tal como, a área ocupada nas fachadas do edifício e o seu coeficiente de transmissão térmica superficial são parâmetros a ter em conta no projecto dos mesmos [8]. Os sistemas convencionais de arrefecimento e aquecimento dos edifícios consomem uma grande quantidade de energia proveniente dos combustíveis fósseis, o que resulta em grandes quantidades de gases de efeito de estufa emitidos para atmosfera [16]. Existem vários tipos de sistemas de climatização mediante às diferentes características dos edifícios, tais como, a dimensão, tipo de utilização e condições meteorológicas [17]. Os principais equipamentos de climatização para aquecimento e arrefecimento existentes em edifícios de serviços correspondem a chillers, bombas de calor e caldeiras [17]. A substituição dos sistemas convencionais de aquecimento/arrefecimento antigos por outros mais recentes e eficientes é uma das soluções para a redução do seu consumo [18].

Estima-se que iluminação seja responsável por entre 20 a 40% do consumo total de electricidade nos edifícios [19]. O consumo de energia resultante da iluminação pode ser bastante reduzido através da utilização de lâmpadas economizadoras de energia, como é o caso da iluminação LED, de sensores inteligentes de controlo por zona ou acústicos e por iluminação natural [20]. A combinação de lâmpadas economizadoras e de sensores inteligentes de controlo por zona resultam numa poupança de energia entre 50 a 80% de energia em relação ao consumo inicial das mesmas sem melhorias [20].

A energia consumida pelos edifícios de necessidades quase zero de energia que é proveniente de fontes não renováveis pode ser reduzida através da produção no local de energia proveniente de fontes renováveis, como é o caso da energia solar térmica ou a fotovoltaica, que podem ser facilmente integrados nas fachadas ou coberturas do edifício [21]. Os sistemas solar térmicos são utilizados para produzir Águas Quentes Sanitárias (AQS) através da captação da energia solar incidente [22]. Em termos gerais, os colectores solares absorvem a radiação que neles incide, convertendo-a em calor através de um fluido de trabalho que circula no sistema e que transfere essa energia térmica para um cilindro de armazenamento que é utilizado para produzir água quente [22]. De notar que quando a radiação incidente nos colectores é insuficiente para a produção de Águas Quentes Sanitárias utilizam-se sistemas auxiliares como é o caso de caldeiras ou uma resistência eléctrica [22]. Os dois principais tipos de colectores utilizados são os colectores planos e os colectores de tubos em vácuo [22].

1.2 Objectivos

O presente documento tem como principal objectivo a avaliação e comparação de um conjunto de edifícios da administração central com diversas tipologias através de índices de consumo de energia por área de edifício e por ocupante em relação a valores de edifícios típicos e eficientes dessa tipologia existentes em bibliografia. As tipologias consideradas são os laboratórios, piscinas, estabelecimentos de ensino superior, escritórios e residências universitárias. Esta análise permite compreender o estado em que se encontram estes edifícios, em termos de consumo de energia, em relação a um edifício típico e a um eficiente da sua tipologia. Além disso, será explicitada a avaliação energética levada a cabo ao conjunto de x edifícios ilustrada por dois dos casos de estudo. Pretende-se igualmente comparar e analisar as potenciais poupanças energéticas resultantes da substituição dos elementos que resultam em consumo de energia nos edifícios estudados por outros eficientes e compreender quais os edifícios que mais beneficiam com estas melhorias.

1.3 Metodologia

A avaliação energética dos edifícios de serviço estudados foi realizada através do levantamento de dados nas instalações desses edifícios, tendo em vista a identificação dos equipamentos com consumo de energia e dos elementos construtivos dos edifícios passíveis de ser melhorados em termos de desempenho térmico. Esta análise centrou-se na iluminação, equipamentos de climatização e preparação de águas quentes sanitárias e nos elementos construtivos da envolvente dos edifícios. Na iluminação registou-se a potência das lâmpadas e as horas de funcionamento das mesmas. Para os equipamentos de climatização e de preparação de águas quentes sanitárias registou-se a existência desses equipamentos e utilizaram-se as informações de desempenho padrão existentes em [23,24]. Esta opção deveu-se ao facto de, na maior parte dos casos, ser difícil aceder a informação específica dos aparelhos. A constituição dos elementos construtivos dos edifícios caso de estudo teve por base as informações fornecidas pelos responsáveis dos edifícios. Foram igualmente recolhidas as facturas energéticas dos edifícios correspondentes ao período de um ano para análise do consumo de energia. Adicionalmente foram obtidas informações genéricas sobre os períodos de funcionamento dos edifícios, número de ocupantes e área útil.

A comparação entre edifícios foi realizada através da utilização de índices de eficiência energética por unidade de área útil dos edifícios e por número de ocupantes. A estimativa das potenciais poupanças energéticas foi obtida através da diferença entre o consumo actual dos edifícios e o consumo previsto, após a aplicação das melhorias energéticas.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este documento encontra-se dividido em cinco capítulos:

- **Capítulo 1.** Revisão de literatura sobre o que tem sido feito em termos do Estado Português ou da União Europeia para promover a eficiência energética nos edifícios da administração central e os diferentes elementos consumidores de energia que podem gerar poupanças caso se opte por substituí-los ou melhorá-los.
- **Capítulo 2.** Apresentação da metodologia de cálculo utilizada para obter os consumos anuais de energia através das facturas, estimativa da desagregação de consumos dos edifícios estudados e poupanças estimadas de energia para cada elemento intervencionado.
- **Capítulo 3.** Apresentação da análise energética realizada em dois edifícios caso de estudo com a metodologia de cálculo enunciada no capítulo anterior.
- **Capítulo 4.** Análise e discussão dos resultados obtidos através da comparação dos edifícios da administração central entre si e com edifícios típicos e eficiente da sua tipologia através de índices de consumo de energia por área de pavimento e por ocupante e das poupanças estimadas obtidas para cada um destes edifícios.
- **Capítulo 5.** Apresentação das principais conclusões sobre a análise dos edifícios estudados em termos de índices de consumo e poupanças estimadas de energia.

2 Metodologia de Cálculo Aplicada

2.1 Análise das Facturas de Energia

O consumo anual de energia dos edifícios caso de estudo foi obtido através das facturas de energia disponibilizadas pelos responsáveis dessas entidades. Estas correspondem aos doze meses do último ano.

2.1.1 Electricidade

O consumo anual de energia eléctrica de um edifício para diferentes tarifas de consumo é obtido através das expressões relativas à tarifa contratada com a entidade comercializadora de energia. A expressão do consumo anual de energia para a tarifa tetra-horária é dada por:

$$E_{\text{anual tetra-horária}} [kWh/ano] = \sum_{i=1}^{12} (C_i + P_i + VN_i + SV_i) [kWh/mês] \quad (1)$$

onde C_i é o período de cheia no mês i , P_i é o período de ponta no mês i , VN_i é o período de vazio normal no mês i e SV_i é o período de super vazio no mês i . A expressão do consumo anual de energia para a tarifa tri-horária corresponde a:

$$E_{\text{anual tri-horária}} [kWh/ano] = \sum_{i=1}^{12} (C_i + P_i + V_i) [kWh/mês] \quad (2)$$

em que C_i é o período de cheia no mês i , P_i é o período de ponta no mês i , V_i é o período de vazio no mês i . A expressão do consumo anual de energia para a tarifa bi-horária pode ser escrita como:

$$E_{\text{anual bi-horária}} [kWh/ano] = \sum_{i=1}^{12} (FV_i + V_i) [kWh/mês] \quad (3)$$

onde FV_i é o período de horas fora de vazio no mês i e V_i é o período das horas de vazio no mês i . A expressão do consumo anual de energia para a tarifa simples pode ser obtida por:

$$E_{\text{anual simples}} [kWh/ano] = \sum_{i=1}^{12} (E_i) [kWh/mês] \quad (4)$$

em que simples E_i é o consumo mensal de energia eléctrica no mês i .

2.1.2 Gás Natural

O consumo anual de gás natural, expresso em quilowatts-hora, dos edifícios caso de estudo consumidores deste combustível é determinado através da seguinte expressão:

$$E_{anual}[kWh/ano] = \sum_{i=1}^{12} (E_i) [kWh/mês] \quad (5)$$

onde E_i é o consumo mensal de gás natural do edifício no mês i .

2.1.3 Gás Propano

O gás propano é fornecido às entidades consumidoras deste combustível a granel e os seus valores são apresentados em metros cúbicos de combustível. O consumo de anual deste combustível é fornecido pela seguinte expressão:

$$E_{anual}[kWh/ano] = \sum_{j=1}^n E_j [m^3] \cdot \rho[kg/m^3] \cdot PCS[MJ/kg] \cdot (1/3,6)[kWh/MJ] \quad (6)$$

onde E_j é a quantidade de gás propano anualmente consumida em j fornecimentos, ρ é a densidade do gás propano que tem o valor de $500kg/m^3$ [25] e PCS é o poder calorífico superior do gás propano que possui o valor de $50,368MJ/kg$ [25].

2.1.4 Nafta

A nafta é fornecida à entidade consumidora deste combustível a granel e os seus valores são apresentados em quilogramas de combustível. O consumo de anual deste combustível é fornecido pela seguinte expressão:

$$E_{anual}[kWh/ano] = \sum_{j=1}^n E_j [kg] \cdot PCS[kCal/kg] \cdot 4187,6[kJ/kCal] \cdot (1/3600)[kWh/kJ] \quad (7)$$

onde E_j é a quantidade de nafta anualmente consumida em j fornecimentos e PCS é o poder calorífico superior da nafta que possui o valor de $11,36kCal/kg$ [26].

2.2 Desagregação de Consumos

A desagregação estimada dos diferentes tipos de consumo de energia que se pretende reduzir através da substituição dos equipamentos existentes por outros mais eficientes foi realizada através de cálculos estimados dos consumos de energia de cada tipo de equipamento excepto a climatização que foi obtida por análise da sazonalidade do consumo de energia das facturas de energia.

2.2.1 Iluminação

A energia anualmente consumida pelas n lâmpadas existentes num determinado edifício caso de estudo pode ser estimada através da seguinte expressão:

$$E_{ilum}[kWh/ano] = \sum_{i=1}^n P_i[W] \cdot h_i[h/dia] \cdot d_i[dia/ano] \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

onde P corresponde à potência da lâmpada i , em Watts, h é o número de horas que a lâmpada i funciona por dia e d é o número de dias por ano que a lâmpada i funciona. A expressão encontra-se multiplicada por 10^{-3} para converter o consumo anual de energia da lâmpada em kWh/ano. As horas e dias estimados de funcionamento da iluminação existente nos edifícios estudados foram obtidos através de informações fornecidas pelos ocupantes dos edifícios estudados. De referir que, nas lâmpadas fluorescentes a potência da lâmpada foi considerado o consumo adicional do balastro que corresponde a cerca de 20% da energia que efectivamente é necessária à iluminação [23]. As potências das lâmpadas existentes nos edifícios caso de estudo e as suas equivalentes em LED podem ser visualizadas na seguinte tabela:

Tabela 1: Lâmpadas existentes nos edifícios caso de estudo e respectivas lâmpadas equivalentes em LED.

Lâmpadas Existentes		Lâmpadas Eficientes	
Tipo Lâmpada	Potência [W]	Tipo Lâmpada	Potência [W]
Incandescentes	100	Bolbo LED	13 [27]
Incandescentes	75	Bolbo LED	10,5 [28]
Incandescentes	50	Bolbo LED	9 [29]
Halogéneo Clássica	53	Bolbo LED	13 [27]
Dicróicas GU 10	50	LED Spot	4,9 [30]
Dicróicas GU 10	35	LED Spot	3,7 [31]
Compactas Fluorescentes	11	Bolbo LED	4 [32]
Compactas Fluorescentes	13	Bolbo LED	7 [33]
Compactas Fluorescentes	18	Bolbo LED	9 [29]
Compactas Fluorescentes	26/28	Bolbo LED	13[27]
Compactas Fluorescentes	32	Bolbo LED	14[34]
Tubulares Fluorescentes T8	18	Tubo LED	10 [35]
Tubulares Fluorescentes T8	36	Tubo LED	16 [36]
Tubulares Fluorescentes T8	58	Tubo LED	24 [36]
Tubulares Fluorescentes T5	14	Tubo LED	8 [37]
Tubulares Fluorescentes T5	28	Tubo LED	26 [38]
Tubulares Fluorescentes T5	35	Tubo LED	26 [39]
Emergência	12	Emergência LED	4,1 [40]
Projector iodetos Metálicos	100	Projector LED	38,3 [41]
Projector iodetos Metálicos	150	Projector LED	83,2 [42]
Projector iodetos Metálicos	300	Projector LED	170,3 [43]
Projector iodetos Metálicos	400	Projector LED	216,9 [44]
Lâmpada vapor de Sódio	120	Exterior LED	11,6 [45]
Lâmpada vapor de Sódio	150	Exterior LED	11,6 [45]

2.2.2 Climatização

O consumo de energia em climatização nos edifícios encontra-se associado às variações da temperatura exterior ao longo do ano [46]. Considerando essa sazonalidade anual no consumo de energia presente nas facturas de energia disponibilizadas pelos responsáveis das entidades possuidoras dos edifícios caso de estudo é possível obter uma estimativa do consumo de energia em climatização desses edifícios. No caso das facturas de gás natural, nafta ou gás propano,

caso o consumo de energia se destine apenas à climatização, é possível observar que consumo de energia nas facturas apenas ocorre nos meses correspondentes à estação de aquecimento. No caso das facturas de electricidade os maiores consumos de energia correspondem às estações de aquecimento e arrefecimento apesar de o peso do consumo de energia na estação de aquecimento ser maior que na estação de arrefecimento. Nos meses de meia estação devido às temperaturas amenas existe uma redução do consumo de energia em climatização em relação às estações de aquecimento e arrefecimento. O consumo anual de energia em climatização dos edifícios caso de estudo pode ser estimado através da seguinte expressão:

$$E_{\text{Clim}}[\text{kWh/ano}] = \sum_{i=1}^{12} E_i[\text{kWh/mês}] - \bar{E}[\text{kWh/mês}] \quad (9)$$

onde E_i é a energia eléctrica consumida no mês i e \bar{E} corresponde à energia eléctrica média consumida nos meses de meia estação ou no caso das facturas de gás ou nafta aos meses em que não existe consumo de energia em aquecimento. De referir que, os valores de consumo de energia em climatização estimados para os meses correspondentes à estação de aquecimento possuem uma percentagem de consumo de energia relativa à iluminação pois os dias são menores nesse período do ano o que resulta num aumento do consumo de energia em iluminação.

2.2.3 Águas Quentes Sanitárias

O consumo estimado de energia de um equipamento de produção de águas quentes sanitárias é dado por:

$$E_{\text{AQS}}[\text{kWh/ano}] = \frac{Q_{\text{AQS}}[\text{kWh/ano}]}{\eta} \quad (10)$$

Em que Q_{AQS} é a energia útil utilizada para a preparação das águas quentes sanitárias e η é o rendimento dos sistemas convencionais de produção de águas quentes sanitárias. Os equipamentos de produção de águas quentes sanitárias encontrados nos edifícios caso de estudo correspondem essencialmente a caldeiras e termoacumuladores. Por inexistência de informação sobre o rendimento destes equipamentos utilizou-se o rendimento padrão destes equipamentos dado em [23] e que pode ser visualizado na seguinte tabela:

Tabela 2: Valores nominais de rendimento padrão para os equipamentos de produção de águas quentes sanitárias [23].

Tipo de Equipamento Existente	Rendimento $[\eta]$
Caldeira a combustível gasoso	0,87
Termoacumulador eléctrico	0,80
Termoacumulador gás	0,70

A energia útil utilizada para a preparação das águas quentes sanitárias pode ser estimada através da seguinte expressão:

$$Q_{\text{AQS}}[\text{kWh/ano}] = V[\text{litros/dia}] \cdot FCL[\text{m}^3/\text{litros}] \cdot \rho[\text{kg/m}^3] \cdot c_p[\text{MJ/kg} \cdot \text{K}] \cdot FCE[\text{kWh/MJ}] \cdot \Delta T[\text{K}] \cdot n_d[\text{dias/ano}] \quad (11)$$

onde V é o volume diário de água consumido para a produção de águas quentes sanitárias dependendo do tipo de consumo. Dado o consumo de águas quentes sanitárias dos edifícios caso de estudo corresponder à preparação de refeições e aos banhos então, de acordo com [23], nas refeições utilizam-se 3 litros/refeição e nos banhos utilizam-se 25 litros/pessoa a 60°C. Mas como a temperatura de consumo de águas quentes sanitárias segundo [47] é 50°C, então para corrigir o consumo diário de águas quentes sanitárias para essa temperatura, faz-se:

$$V_{50^{\circ}\text{C}} = V_{60^{\circ}\text{C}} \cdot \left(\frac{60^{\circ}\text{C} - T_{rede}}{50^{\circ}\text{C} - T_{rede}} \right) \quad (12)$$

em que, $V_{50^{\circ}\text{C}}$ é o consumo diário de águas quentes sanitárias corrigido para 50°C e T_{rede} é a temperatura da água da rede pública que está definida como 15°C [23]. FCL é o factor de conversão de litros para metros cúbicos que tem o valor de $10^{-3} \text{ m}^3/\text{litro}$, ρ é a densidade da água que tem o valor de 1000 kg/m^3 , c_p é o calor específico da água que possui o valor de $4,186 \cdot 10^{-3} \text{ MJ/kg} \cdot \text{K}$, FCE é o factor de conversão de mega Joule para quilowatt-hora que tem o valor de $3,6^{-1} \text{ kWh/MJ}$, ΔT corresponde à variação de temperatura a que se quer elevar a água que é de 35K [47] e n_d é o número anual de dias de consumo de águas quentes sanitárias que se encontram em [23] e podem ser visualizados na seguinte tabela:

Tabela 3: Número anual de dias de consumo de águas quentes sanitárias [23].

Funcionamento do Edifício	Nº de dias de Consumo de AQS
Permanente	365
Encerrado 1 dia por semana	313
Encerrado 1,5 dias por semana	287
Encerrado 2 dias por semana	261

2.2.4 Outros Consumos

Os restantes consumos de energia que não foram considerados para melhorias de eficiência energética podem ser estimados através da seguinte expressão:

$$E_{\text{Outros Consumos}}[\text{kWh/ano}] = E_{\text{total}}[\text{kWh/ano}] - (E_{\text{ilum}}[\text{kWh/ano}] + E_{\text{clim}}[\text{kWh/ano}] + E_{\text{AQS}}[\text{kWh/ano}]) \quad (13)$$

onde E_{total} é a energia anualmente consumida pelo edifício caso de estudo, E_{ilum} é a energia estimada anualmente consumida em iluminação, E_{clim} é a energia estimada anualmente consumida em climatização e E_{AQS} é a energia estimada anualmente consumida para a produção de águas quentes sanitárias.

2.3 Poupanças de Energia

2.3.1 Iluminação

A poupança de energia resultante da substituição de uma lâmpada j existente num edifício caso de estudo por outra mais eficiente é dada por:

$$Poupança_j [kWh] = E_{j,a}[kWh] - E_{j,d}[kWh] \quad (14)$$

onde $E_{j,a}$ e $E_{j,d}$ correspondem respectivamente aos consumos da lâmpada existente no edifício e a lâmpada eficiente que substituiu a existente. De referir que, ao substituir directamente a lâmpada existente por outra mais eficiente apenas se está a alterar a potência que se tinha por uma nova de menor potência.

2.3.2 Envolvente do Edifício

As poupanças de energia, resultantes da melhoria da qualidade térmica dos elementos da envolvente dos edifícios caso de estudo, podem ser obtidas através da seguinte expressão:

$$Poupança_j [kWh] = Q_{j,a}[kWh] - Q_{j,d}[kWh] \quad (15)$$

onde j é o elemento da envolvente do edifício e $Q_{j,a}$ e $Q_{j,d}$ são respectivamente a energia consumida em climatização relativa ao elemento j antes e depois das melhorias na sua qualidade térmica e é dada por:

$$Q_{j,a}[kWh] = P_{j,a}[\%] \cdot Q_{c,a}[kWh] \quad (16)$$

$$Q_{j,d}[kWh] = P_{j,d}[\%] \cdot Q_{c,d}[kWh] \quad (17)$$

em que P_j é percentagem estimada de calor perdido por cada elemento j da envolvente dos edifícios caso de estudo é dada por:

$$P_j[\%] = \frac{\dot{Q}_j[kWh]}{\sum \dot{Q}_j[kWh]} \quad (18)$$

sendo que, \dot{Q}_j corresponde às perdas de calor estimadas pelo elemento j . De notar que, para deduzir a percentagem estimada de calor perdido pelo elemento j da envolvente dos edifícios caso de estudo considerou-se apenas as perdas de calor pela envolvente na estação de aquecimento. Esta consideração é muito grosseira pois não tem em conta os ganhos de calor indesejados na estação de arrefecimento. No entanto, a aproximação é aceitável para os países do norte da Europa onde o isolamento térmico é exclusivamente utilizado para manter e armazenar o calor interno dos edifícios através da redução das perdas de calor por transmissão para o exterior pois os invernos são frios e os ganhos de calor pelo exterior não possuem muito peso [48]. As perdas de calor durante a estação de aquecimento podem ser estimadas através da expressão fornecida por [23]:

$$\dot{Q}_j[kWh] = 0,024 \cdot U_j[W/m^2 \cdot K] \cdot A_j[m^2] \cdot GD \cdot 24[h/dia] \quad (19)$$

em que GD é o número de graus-dia de aquecimento especificados para cada concelho de Portugal e podem ser consultados em [23]. O $Q_{c,a}$ e $Q_{c,d}$ correspondem respectivamente ao consumo estimado de energia em climatização antes e depois da melhoria da qualidade térmica da envolvente dos edifícios caso de estudo. Para estimar a energia perdida pela envolvente após a melhoria da qualidade térmica nos edifícios caso de estudo, tem-se:

$$Q_{c,d} = Q_{c,a} [kWh] \cdot \frac{\sum \dot{Q}_{j,d} [kWh]}{\sum \dot{Q}_{j,a} [kWh]} \quad (20)$$

onde $\sum \dot{Q}_{j,d}$ e $\sum \dot{Q}_{j,a}$ correspondem ao somatório das perdas de calor estimadas pela envolvente dos edifícios caso de estudo antes e depois da implementação das melhorias térmicas nos elementos da envolvente. De referir que, não foram consideradas as perdas de calor pelo pavimento e por infiltrações nos edifícios por falta de informação acerca destes elementos no momento do levantamento desses edifícios e por não terem sido propostas medidas de eficiência energética a estes elementos. No entanto é importante referir que existem perdas de calor através destes elementos o que vai naturalmente modificar as percentagens das perdas de calor em cada um dos elementos da envolvente considerados para medidas de eficiência energética.

2.3.3 Sistemas de Climatização

A poupança de energia resultante da substituição dos equipamento de climatização existentes nos edifícios caso de estudo por outros mais eficientes pode ser obtida por:

$$\begin{aligned} Poupança_{total} [kWh] &= Poupança_{aquec} [kWh] + Poupança_{arref} [kWh] \\ &= (E_{aquec,a} [kWh] - E_{aquec,d} [kWh]) + (E_{arref,a} [kWh] - E_{arref,d} [kWh]) \end{aligned} \quad (21)$$

onde $E_{aquec,a}$ e $E_{aquec,d}$ são respectivamente a energia consumida estimada para aquecimento através dos equipamentos de climatização existentes nos edifícios caso de estudo e os eficientes e $E_{arref,a}$ e $E_{arref,d}$ correspondem respectivamente à energia consumida estimada para arrefecimento através dos equipamentos de climatização existentes nos edifícios caso de estudo e os eficientes. Para se estimar a energia consumida pelos equipamentos eléctricos de climatização eficientes faz-se:

$$E_{aquec,d} = \frac{Q_{aquec} [kWh]}{\sum_i \alpha_i \cdot COP_{d,i} + \sum_j \alpha_j \cdot \eta_{d,j}} \quad (22)$$

$$E_{arref,d} = \frac{Q_{arref} [kWh]}{\sum_i \alpha_i \cdot EER_{d,i}} \quad (23)$$

sendo que, COP_d e EER_d são os Coeficiente de Desempenho e o Índice de Eficiência de Energia do equipamento i eficiente a ser instalado, η_d é o rendimento da caldeira eficiente j a ser instalada, α corresponde ao número de compartimentos climatizados por um determinado equipamento de climatização a dividir pelo número total de compartimentos climatizados existente num dado edifício e Q_{aquec} e Q_{arref} são a energia térmica a ser fornecida aos

compartimentos dos edifícios caso de estudo para que estes mantenham as condições de conforto no seu interior para aquecimento e arrefecimento e são dados por:

$$Q_{aquec} = E_{aquec,a} \cdot \left(\sum_i \alpha_i \cdot COP_{a,i} + \sum_j \alpha_j \cdot \eta_{a,j} \right) \quad (24)$$

$$Q_{arref} = E_{arref,a} \cdot \sum_i \alpha_i \cdot EER_{a,i} \quad (25)$$

em que, COP_a e EER_a são os Coeficiente de Desempenho e o Índice de Eficiência de Energia do equipamento de climatização i existente num determinado edifício caso de estudo e η_a é o rendimento da caldeira j existente num determinado edifício caso de estudo. Por inexistência de informação acerca do Coeficiente de Desempenho, Índice de Eficiência de Energia e rendimento dos equipamentos existentes nos edifícios consideraram-se os seguintes valores apresentados em [23,24].

Tabela 4: Valores padrão do Coeficiente de Desempenho e índice de Eficiência Energética de equipamentos eléctricos de climatização.

Tipo de Equipamento Existente	COP	EER	η
Radiador Eléctrico	1	-	-
Ar condicionado Mono-Split - classe energética F	2,40	2,20	-
Ar condicionado Multi-Split/VRV - classe energética F	2,60	2,40	-
Chillers/Bomba de Calor permuta a ar- classe energética F	2,40	2,30	-
Chillers/Bomba de Calor permuta a água- classe energética F	3,25	3,45	-
Caldeira a combustível gasoso	-	-	0,87
Caldeira a combustível líquido	-	-	0,80

Os valores de Coeficiente de Desempenho, o Índice de Eficiência de Energia e rendimento dos equipamentos de climatização eficiente de classe energética A++ encontram-se em [24] e podem ser visualizados na seguinte tabela:

Tabela 5: Valores padrão do Coeficiente de Desempenho e índice de Eficiência Energética de equipamentos eléctricos de climatização.

Tipo de Equipamento Eficiente	COP	EER	η
Ar condicionado Mono-Split	3,40	3,00	-
Ar condicionado Multi-Split/VRV	3,60	3,20	-
Chillers/Bomba de Calor permuta a ar	3,20	3,10	-
Chillers/Bomba de Calor permuta a água	4,45	5,05	-
Caldeira a combustível gasoso	-	-	0,96
Caldeira a combustível líquido	-	-	0,96

2.3.4 Sistemas de Preparação de Águas Quentes Sanitárias

A poupança de energia resultante da substituição dos sistemas convencionais de produção de águas quentes sanitárias por outros mais eficientes, como é o caso das caldeiras que serão substituídas por caldeiras de classe energética A++ e dos termoacumuladores que serão substituídos por sistemas solar térmicos, é dada por:

$$Poupança [kWh] = E_a - E_d \quad (26)$$

onde E_a e E_d são respectivamente os consumos anuais de energia dos sistemas de produção de águas quentes sanitárias existentes nos edifícios caso de estudo e dos sistemas eficientes a instalar nesses edifícios. De referir que, a opção de substituir as caldeiras existentes por outras

mais eficientes e os termoacumuladores por sistemas solar térmicos deveu-se essencialmente por razões económicas. A poupança resultante da substituição das caldeiras existentes por outras mais eficientes é dada pela seguinte expressão:

$$Poupança [kWh] = E_a - E_d = \frac{Q_{req}}{\eta_a} - \frac{Q_{req}}{\eta_d} \quad (27)$$

onde Q_{req} é a energia térmica anualmente requerida para a produção de águas quentes sanitárias dos edifícios caso de estudo e η_a e η_d são respectivamente os rendimentos das caldeiras existente e a eficiente que substitui a existente nos edifícios caso de estudo. A poupança de energia resultante da substituição dos termoacumuladores existentes por sistemas solar térmicos é dada por:

$$Poupança [kWh] = E_a - E_d = \frac{Q_{req}}{\eta_{term}} - \sum_{i=1}^{12} \frac{E_A}{\eta_{resis}} \quad (28)$$

onde η_{term} é o rendimento do termoacumulador, E_A corresponde à energia útil consumida pelos sistemas de apoio e η_{resis} é o rendimento da resistência que serve de sistema de apoio e que se considerou segundo [23] com o valor 1. A energia útil consumida pelos sistemas de apoio, E_A , é obtida através do programa SOLTERM. O SOLTERM é um programa desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), com o intuito de ser utilizado na contabilização da contribuição de sistemas de energias renováveis para o balanço energético de edifícios, no contexto do Sistema de Certificação de Edifícios, Decreto-Lei 118/2013 de 20 de agosto [49]. Para se estimar a energia anualmente consumida pelo sistema de apoio, E_A , tem-se primeiro que definir no programa o local de implementação do sistema solar térmico e os sombreamentos a que o mesmo estará sujeito. No presente estudo não se consideraram sombreamentos do local de instalação dos colectores solar térmicos pois o único edifício que possui termoacumulador para a preparação de águas quentes sanitárias não tem obstáculos ao seu redor. Depois de definidos estes pressupostos no programa tem de se escolher os diferentes componentes de que é constituído o sistema solar térmico. Os colectores solar térmicos podem ser escolhidos no SOLTERM e o modelo de colector solar térmico escolhido para este efeito foi o modelo J da marca SOLAHART que possui uma eficiência óptica de 0,84 e uma área de abertura de $1,86m^2$ devido às suas características de desempenho. Para configurar-se o posicionamento dos colectores solar térmicos no edifício considerou-se que os mesmos estão orientados para sul e que a inclinação dos colectores solar térmicos é igual à latitude do local de implementação do sistema solar térmico pois o mesmo tem consumo de águas quentes sanitárias quase todo o ano excepto no mês de Agosto. O sistema de apoio escolhido para este sistema solar térmico foi a resistência eléctrica pois o edifício apenas possui consumo de energia eléctrica. A capacidade do depósito a instalar é escolhida de acordo com as necessidades diárias de águas quentes sanitárias que neste caso correspondem a 15 banhos por dia. O perfil de consumo foi definido igual para todos os meses do ano excepto no mês de Agosto onde não existe consumo de águas quentes sanitárias. Através da definição destes factores no SOLTERM é possível obter a energia que o sistema de apoio necessita fornecer para que se possa preencher os requisitos diários de águas quentes sanitárias destes edifícios.

3 Casos de Estudo

3.1 Entidade C

3.1.1 Caracterização Geral

A Entidade C corresponde a um estabelecimento de ensino constituído por três edifícios distribuídos numa mesma área geográfica e que possuem utilidades diferentes no seio da entidade. De forma a diferenciar os três edifícios optou-se por designá-los por Edifício C.1, Edifício C.2 e Edifício C.3. Os três edifícios da Entidade C situam-se na NUTS III do Grande Porto [50].

3.1.1.1 Edifício C.1

O Edifício C.1 foi construído na segunda metade do século XIX e possui uma área útil de aproximadamente 2000m². O edifício possui a forma rectangular e as suas fachadas encontram-se orientadas aproximadamente nas direcções Norte (N), Sul (O), Este (E) e Oeste (O). O edifício é constituído por quatro pisos e, actualmente, é utilizado como museu e espaço para leccionamento de algumas aulas de mestrado. Os compartimentos deste edifício correspondem ao espaço do museu, alguns gabinetes e salas de aula. No edifício trabalham 2 funcionários e o horário de funcionamento é das 9h às 17h durante os dias úteis de semana encerrando durante os fins-de-semana. O edifício é frequentado diariamente por cerca de 150 alunos durante o período de funcionamento do mesmo.

3.1.1.2 Edifício C.2

O Edifício C.2 foi construído em 1989 e possui uma área útil de aproximadamente 4700m². O edifício possui uma forma irregular e as suas fachadas encontram-se orientadas aproximadamente nas direcções Nordeste (NE), Noroeste (NO), Sudoeste (SO) e Sudeste (SE). O edifício é constituído por cinco pisos e é utilizado como espaço de ensino. Os compartimentos deste edifício correspondem maioritariamente a salas de aula, gabinetes e laboratórios. No edifício trabalham 15 funcionários e o horário de funcionamento é das 7h às 20h durante os dias úteis de semana encerrando durante os fins-de-semana. O edifício é frequentado diariamente por cerca de 800 alunos durante o período de funcionamento do mesmo.

3.1.1.3 Edifício C.3

O Edifício C.3 foi construído em 1970 e possui uma área útil de aproximadamente 5600m². O edifício possui a forma aproximada de um “P” com um pátio ao centro e as suas fachadas encontram-se orientadas aproximadamente nas direcções Nordeste (NE), Noroeste (NO), Sudoeste (SO) e Sudeste (SE). O edifício é constituído por sete pisos e é utilizado como espaço de ensino. Os compartimentos deste edifício correspondem maioritariamente a salas de aula, gabinetes, bar/refeitório, biblioteca e laboratórios. No edifício trabalham 200 funcionários e o horário de funcionamento é das 6h às 23h durante os dias úteis de semana encerrando durante os fins-de-semana. O edifício é frequentado diariamente por cerca de 1000 alunos durante o período de funcionamento do mesmo nos dias úteis de semana.

3.1.2 Descrição da Envolvente

3.1.2.1 Edifício C.1

As paredes da fachada do edifício são constituídas por pedra e estuque e têm uma espessura de 0,50m. A cobertura do edifício é em telha de aba e canudo sobre uma laje de blocos de betão de 0,30m de espessura.

Os vãos envidraçados existentes neste edifício são constituídos maioritariamente por vidro simples com caixilharia de madeira apesar de já existirem alguns vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia de alumínio com corte térmico. Não se sabe ao certo o ano de instalação dos vãos envidraçados antigos do edifício mas os vãos envidraçados de vidro duplo foram instalados em 2012. De referir que, as janelas existentes no edifício possuem estores exteriores.

3.1.2.2 Edifício C.2

As paredes da fachada do edifício são constituídas, do exterior para o interior, por reboco, blocos de tijolo e reboco e têm uma espessura total de 0,30m. A cobertura do edifício é constituída interiormente por uma laje de blocos de betão de 0,30m de espessura e tela tipo *sandwich* no exterior.

Os vãos envidraçados existentes neste edifício são constituídos maioritariamente por vidro simples com caixilharia de alumínio sem corte térmico apesar de já existirem alguns vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia de alumínio com corte térmico. Os vãos envidraçados de vidro simples de caixilharia de alumínio sem corte térmico terão sido instalados na época de construção do edifício enquanto os vãos envidraçados de vidro duplo já terão sido instalados posteriormente. De referir que, as janelas existentes no edifício possuem estores exteriores.

3.1.2.3 Edifício C.3

As paredes da fachada do edifício são constituídas, do exterior para o interior, por reboco, blocos de tijolo e reboco e têm uma espessura total de 0,30m. A cobertura do edifício é constituída por laje de blocos de betão de 0,30m de espessura revestida interiormente por estuque e exteriormente por chapa metálica.

Os vãos envidraçados existentes neste edifício são constituídos na totalidade por vidro duplo com caixilharia em alumínio com corte térmico. Estes foram instalados no edifício em 2015. De referir que, as janelas existentes no edifício possuem estores exteriores.

3.1.3 Consumo de Energia

Os edifícios da Entidade C possuem facturas separadas para cada um dos três edifícios, portanto a análise dos consumos de energia de cada edifício será tratada individualmente. No Edifício C.1 existe apenas consumo de electricidade, no Edifício C.2 existe consumo de electricidade e gás natural e no Edifício C.3 existe consumo de electricidade e nafta.

3.1.3.1 Edifício C.1

O edifício C.1 possui um contador de energia eléctrica em baixa tensão especial (BTE), com uma potência contratada de 41,41kVA. Este edifício possui um contrato de ciclo diário com tarifa tetra-horária. O consumo total anual de electricidade deste edifício é de

25 666 kWh/ano. A distribuição do consumo mensal de electricidade pode ser observada na figura 1.

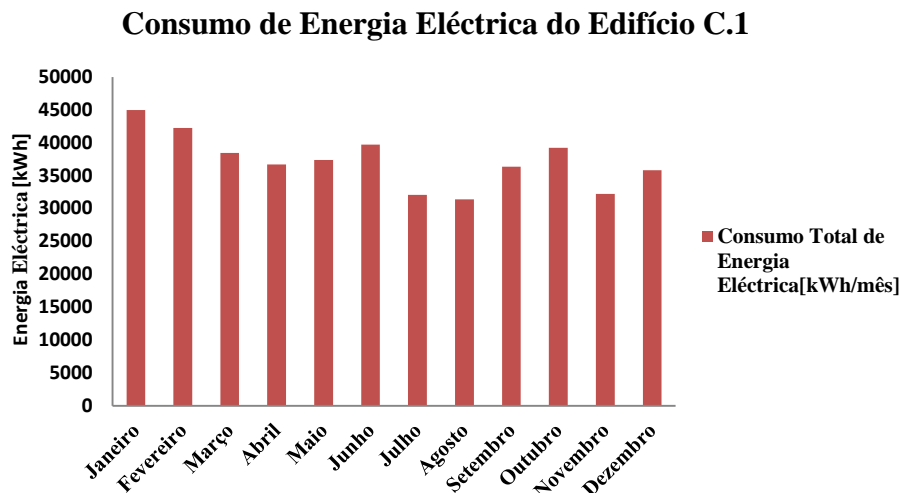


Figura 1: Consumo mensal de energia eléctrica do Edifício C.1.

Da distribuição dos consumos de energia eléctrica por períodos horários, da Figura 2, pode verificar-se que a maior parte do consumo de electricidade é realizado no período de cheia seguida do período de ponta, vazio normal e super vazio.

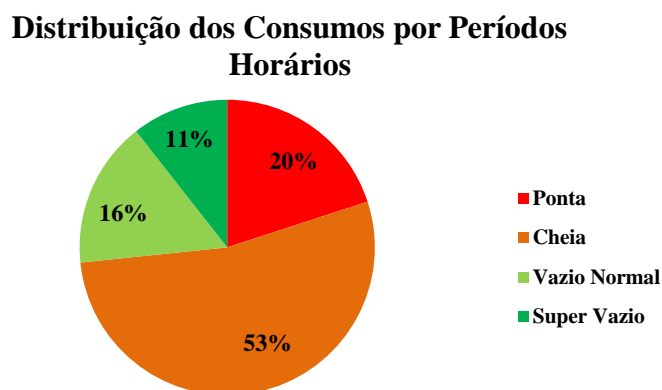


Figura 2: Distribuição dos consumos por períodos horários.

O funcionamento do edifício apenas ocorre nos períodos de cheia e ponta conforme se ilustra na Figura 3.

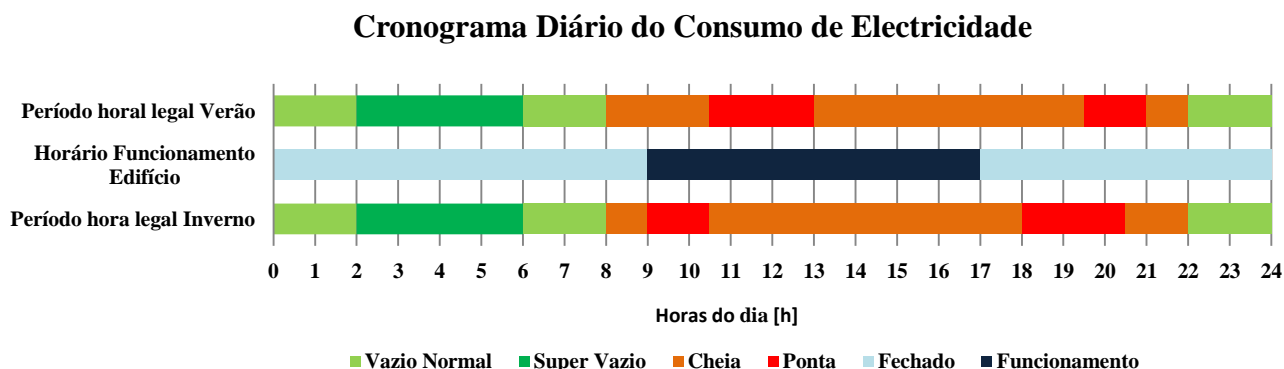


Figura 3: Ciclo diário para baixa tensão especial dos períodos de hora legal de Inverno e Verão e período diário de funcionamento do edifício.

O consumo nos períodos de vazio normal e super vazio é devido à iluminação exterior do edifício que fica ligada durante a noite e a alguns equipamentos informáticos ou electrónicos que possam existir no edifício. De referir que, a percentagem superior do consumo de electricidade do período de vazio normal em relação ao período de super vazio é devida ao número de horas de vazio normal ser superior ao número de horas de super vazio.

3.1.3.2 Edifício C.2

3.1.3.2.1 Electricidade

O edifício C.2 possui um contador de energia eléctrica que é alimentado a partir de uma outra entidade, como tal, não existe informação sobre a potência contratada, o tipo de contrato de energia e o ciclo horário celebrados com a entidade comercializadora de energia. Disto resulta que apenas se possui informação sobre a energia eléctrica mensalmente consumida pelo Edifício C.2. O consumo total anual de electricidade deste edifício é de $118\,620\text{ kWh/ano}$. Da distribuição do consumo mensal de electricidade, da Figura 4, verifica-se que o consumo é superior nos meses da estação de aquecimento e arrefecimento.

Consumo de Energia Eléctrica do Edifício C.2

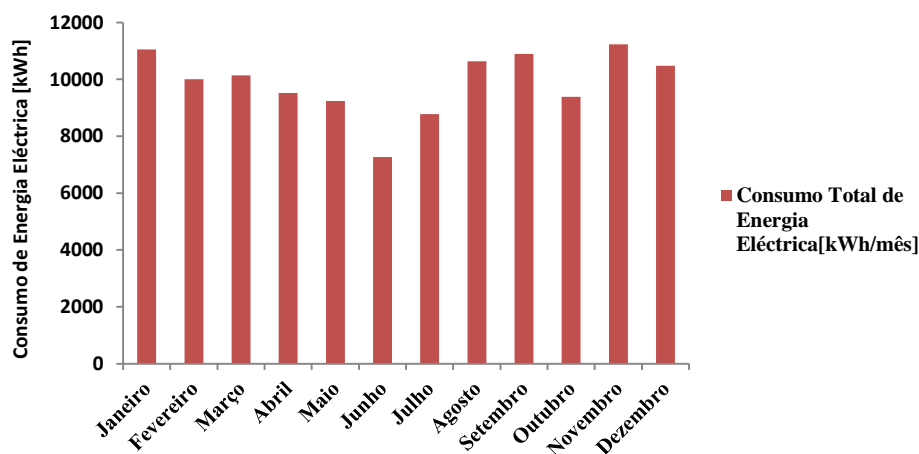


Figura 4: Consumo mensal de energia eléctrica do Edifício C.2.

3.1.3.2.2 Gás Natural

O edifício C.2 possui consumo de gás natural para climatização na estação de aquecimento. O consumo total anual de gás natural deste edifício é de $87\,239\text{ kWh/ano}$. Da distribuição do consumo mensal de gás natural, da Figura 5, pode-se observar que o consumo de gás natural do edifício C.2 ocorre apenas nos meses correspondentes à estação de aquecimento.

Consumo Anual de Gás Natural

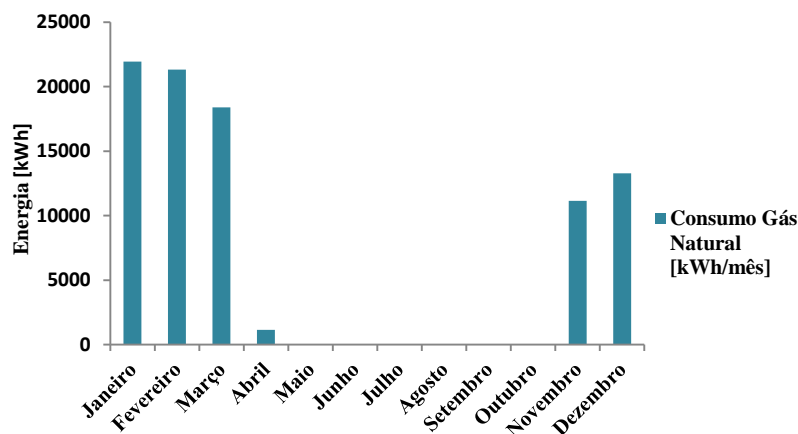


Figura 5: Consumo mensal de gás natural do Edifício C.2.

3.1.3.3 Edifício C.3

3.1.3.3.1 Electricidade

O edifício C.3 possui um contador de energia eléctrica em média tensão (MT), com uma potência contratada de $162kW$. Este edifício possui um contrato de ciclo diário com tarifa tetra-horária. O consumo total anual de electricidade deste edifício é de $377\,115\,kWh/ano$. A distribuição do consumo mensal de electricidade pode ser observada na Figura 6.

Consumo de Energia Eléctrica do Edifício C.3

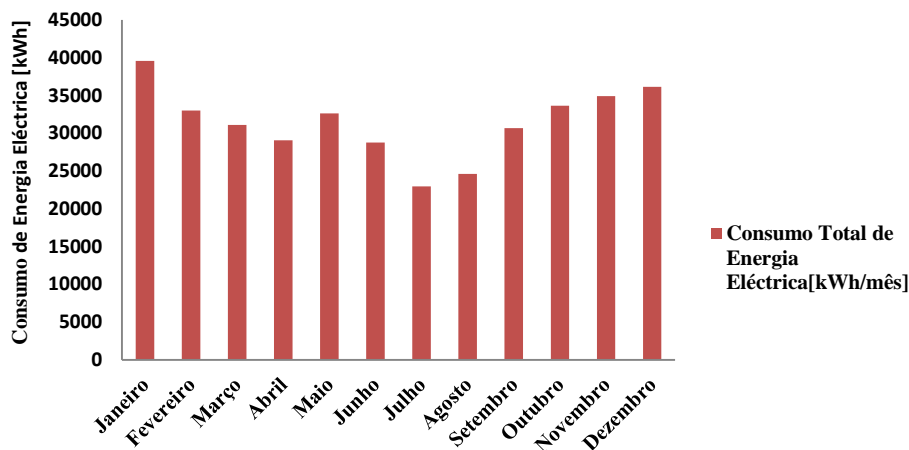


Figura 6: Consumo mensal de energia eléctrica do Edifício C.3.

A distribuição dos consumos de energia eléctrica por períodos horários pode ser visualizada na Figura 7.

Distribuição dos Consumos por Períodos Horários

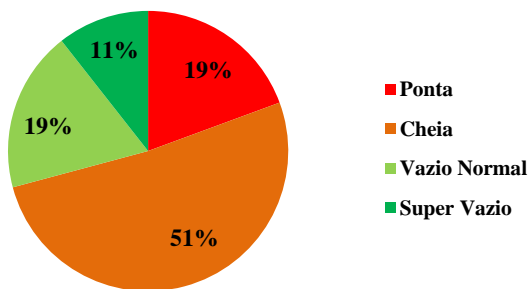


Figura 7: Distribuição dos consumos por períodos horários.

Por observação da Figura 7, pode-se observar que a maior parte do consumo de electricidade é realizado no período de cheia seguida do período de ponta, vazio normal e super vazio. Por visualização da Figura 8, pode-se observar que o funcionamento do edifício ocorre nos períodos de cheia, ponta e vazio normal.

Cronograma Diário do Consumo de Electricidade

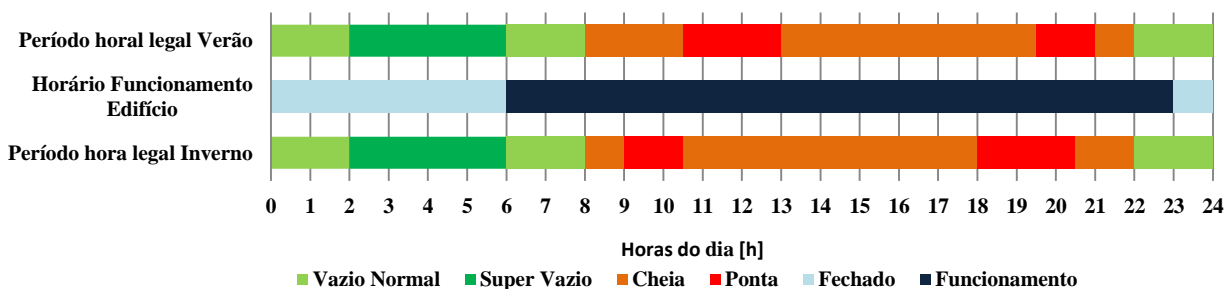


Figura 8: Ciclo diário para baixa tensão especial dos períodos de hora legal de Inverno e Verão e período diário de funcionamento do edifício.

O consumo nos períodos de super vazio e alguns períodos de vazio normal é devido a alguns equipamentos informáticos que ficam ligados durante todo o dia, aos servidores do edifício, equipamentos dos laboratórios e à iluminação exterior do edifício que fica ligada durante a noite.

3.1.3.3.2 Nafta

O Edifício C.3 é o único edifício da Entidade C a consumir nafta e o seu consumo destina-se à climatização e às águas quentes do edifício. A nafta é fornecida quatro vezes por ano ao Edifício C.3 por granel e o seu consumo anual é de 342 952 kWh/ano. De referir que, não se conseguiu estimar a percentagem de nafta consumida para a climatização e para as águas quentes sanitárias ficando as duas incluídas na análise de consumos de energia deste edifício.

3.1.4 Desagregação dos Consumos de Energia

O consumo de energia dos três edifícios da entidade C corresponde essencialmente à iluminação, climatização e outros consumos, apesar de a diferença de tipologia dos três edifícios corresponder a diferentes percentagens no total de energia consumido.

3.1.4.1 Edifício C.1

O consumo de energia do edifício C.1 corresponde à climatização, à iluminação e a outros consumos. Da desagregação dos consumos de energia por tipo de utilização da Figura 9 pode-se constatar que a grande fatia do consumo de energia do edifício é devido à iluminação. Tal facto está de acordo com o observado no edifício a quando da visita às suas instalações pois a maior parte das cargas correspondiam à iluminação e a alguns equipamentos de ar condicionado existindo muito poucos equipamentos informáticos ou electrónicos no interior do mesmo. O consumo total de energia expresso na Figura 9 corresponde ao consumo total de electricidade do edifício.

Desagregação Estimada dos Consumos de Energia

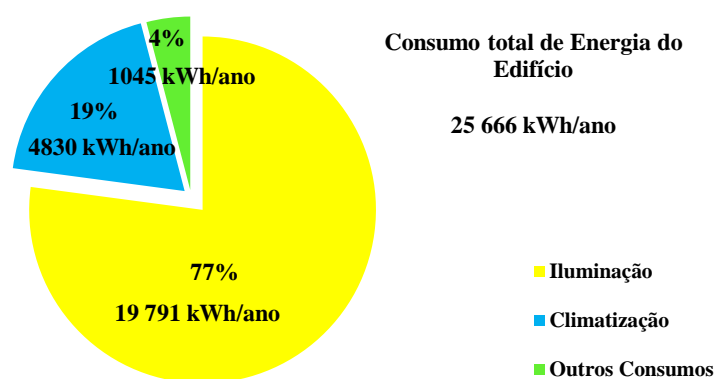


Figura 9: Gráfico da desagregação estimada dos consumos de energia por utilização do Edifício C.1.

3.1.4.2 Edifício C.2

O consumo de energia do edifício C.2 corresponde à climatização, à iluminação e a outros consumos. Da desagregação dos consumos de energia por utilização do edifício, da Figura 10, pode-se constatar que a maior fatia do consumo de energia do edifício é devido à climatização. De notar que, que o gás natural possui um grande peso no consumo total em climatização. Nos outros consumos estão englobados os equipamentos informáticos, electrónicos e de laboratório entre outros. O consumo total de energia expresso na Figura 10 corresponde ao consumo de electricidade e de gás natural do edifício.

Desagregação Estimada dos Consumos de Energia

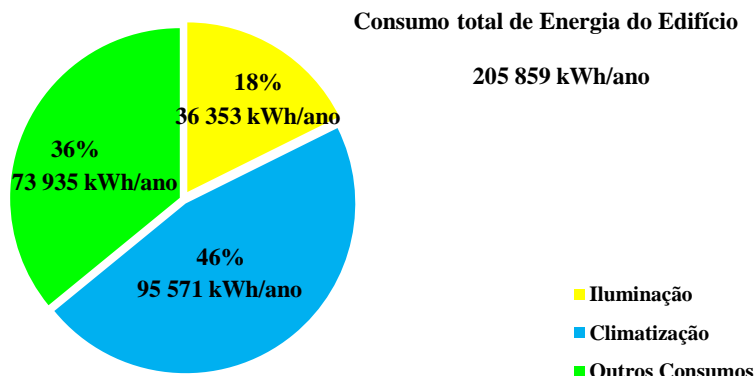


Figura 10: Gráfico da desagregação estimada dos consumos de energia por utilização do Edifício C.2.

3.1.4.3 Edifício C.3

O consumo de energia do edifício C.3 corresponde à climatização, à iluminação e a outros consumos. Da desagregação dos consumos de energia por utilização do edifício pode-se constatar que a maior fatia do consumo de energia do edifício é devido à climatização e águas quentes sanitárias devido ao peso que a nafta tem no consumo total de energia. A desagregação dos consumos de energia na nafta não foi realizado pois é muito difícil estimar a percentagem de energia destinada à climatização e a correspondente às águas quentes sanitárias. No entanto por informações fornecidas pelo responsável da manutenção do edifício grande parte do consumo de nafta é destinada à climatização. Nos outros consumos estão englobados os equipamentos informáticos, electrónicos e de laboratório entre outros.

Desagregação Estimada dos Consumos de Energia

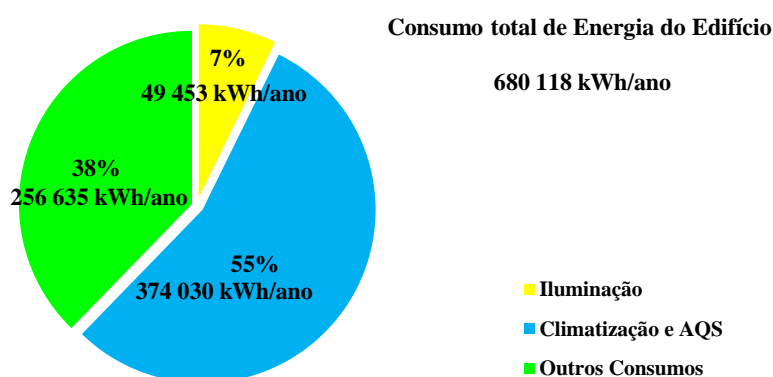


Figura 11: Gráfico da desagregação estimada dos consumos de energia por utilização do Edifício C.3.

3.1.5 Consumo de Energia em Iluminação

O consumo de energia em iluminação e o peso que esta representa para cada edifício da Entidade C varia de acordo com a função que cada um dos edifícios da Entidade C possui.

3.1.5.1 Edifício C.1

A iluminação do Edifício C.1 possui um consumo estimado de 19 791kWh/ano, o que corresponde a 77% do consumo total de energia do Edifício C.1. A iluminação existente no edifício foi obtida por levantamento às instalações do mesmo e pode ser visualizada na Figura 12.

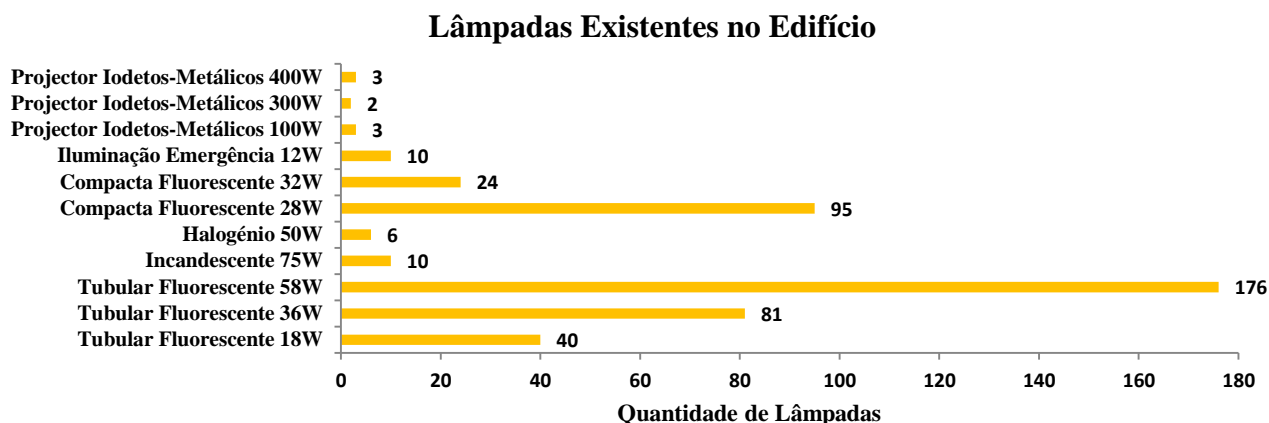


Figura 12: Tipo e quantidade de lâmpadas existentes no Edifício C.1.

A iluminação existente no edifício é pouco eficiente podendo ser reduzido o seu consumo por meio de iluminação mais eficiente. De referir que, existem alguns compartimentos do edifício que possuem a iluminação ligada durante todo o dia. No caso dos projectores exteriores estes operam durante todo o período da noite.

3.1.5.2 Edifício C.2

A iluminação do Edifício C.2 possui um consumo estimado de 36 353kWh/ano, o que corresponde a 18% do consumo total de energia do Edifício C.2. A iluminação existente no edifício foi obtida por levantamento às instalações do mesmo e pode ser visualizada na Figura 13.

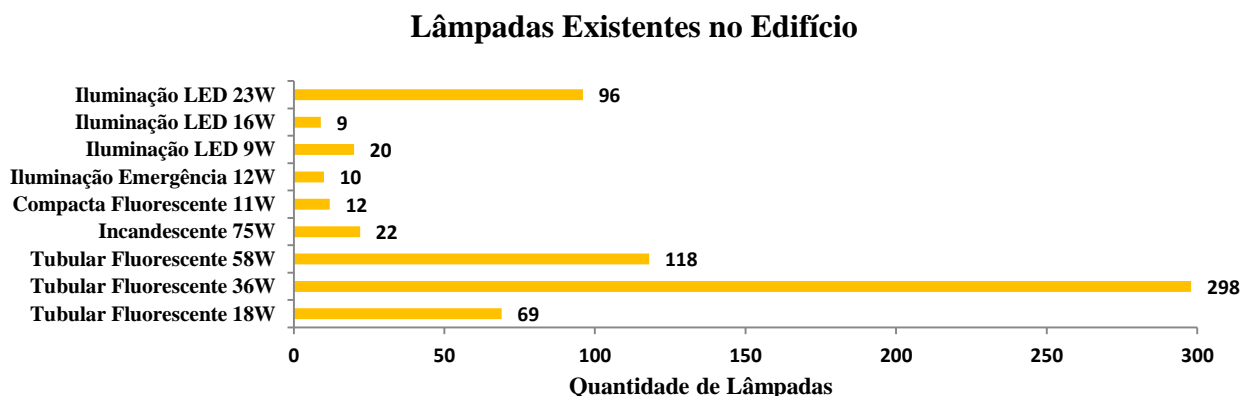


Figura 13: Tipo e quantidade de lâmpadas existentes no Edifício C.2.

A maior parte da iluminação existente no edifício é pouco eficiente podendo ser reduzido o seu consumo por meio de iluminação mais eficiente. Além disso, existem compartimentos do edifício que possuem a iluminação a funcionar praticamente todo o período diurno, o que resulta num maior consumo de energia em iluminação. De notar que, já existe alguma iluminação eficiente do tipo LED no edifício.

3.1.5.3 Edifício C.3

A iluminação do Edifício C.3 possui um consumo estimado de 49 453kWh/ano, o que corresponde a 7% do consumo total de energia do Edifício C.3. A iluminação existente no edifício foi obtida por levantamento às instalações do mesmo e pode ser visualizada na Figura 14.

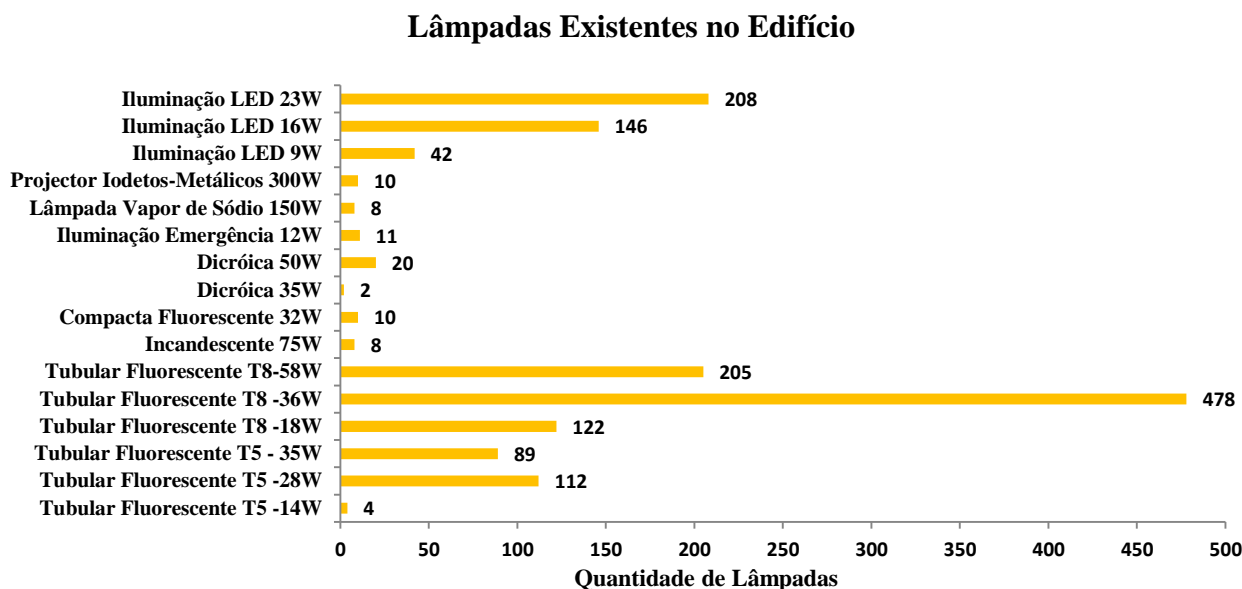


Figura 14: Tipo e quantidade de lâmpadas existentes no Edifício C.3.

A maior parte da iluminação existente no edifício é pouco eficiente podendo ser reduzido o seu consumo por meio de iluminação mais eficiente. Além disso, existem compartimentos do edifício que possuem a iluminação a funcionar praticamente todo o período diurno, o que resulta num maior consumo de energia em iluminação. De notar que, já existe alguma iluminação eficiente do tipo LED no edifício.

3.1.6 Consumo de Energia em Climatização

O consumo de energia em climatização e o peso que esta possui para os três edifícios da entidade C depende do sistema de climatização utilizado, as características do edifício e o tempo de utilização dos equipamentos de climatização. De notar que, o Edifício C.3 possui agregado ao seu consumo de energia em climatização o consumo de energia em águas quentes sanitárias por impossibilidade de desagregar estes dois consumos do total de energia consumido em nafta.

3.1.6.1 Edifício C.1

O edifício C.1 encontra-se praticamente todo climatizado com unidades de ar condicionado do tipo *mono-split*. No edifício foram contabilizadas 32 unidades de ar condicionado. O consumo estimado de energia para climatização é de 4 830 kWh/ano, o que representa 19% do consumo total de energia do Edifício C.1. O gráfico da variação da energia mensal consumida pelo Edifício C.1 pode ser visualizado na Figura 15.

Perfil Estimado de Consumo de Energia em Climatização

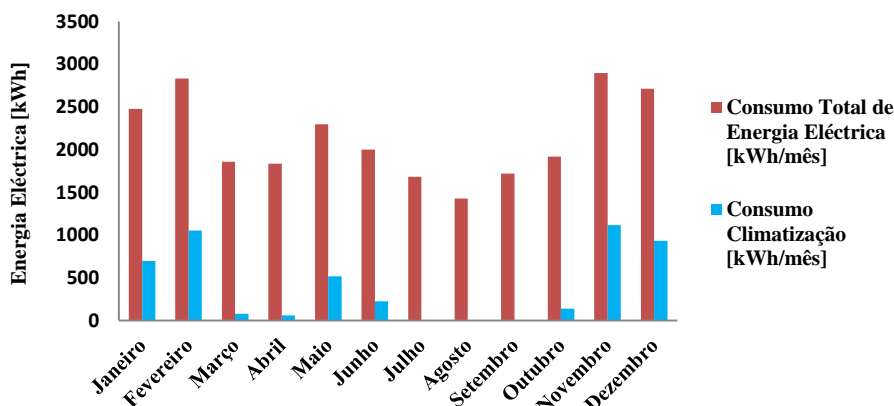


Figura 15: Consumos mensais estimados de energia em climatização em comparação com o consumo mensal total de energia eléctrica do Edifício C.1.

Dos consumos mensais estimados para climatização, Figura 15, pode-se observar que meses de verão o consumo de energia em climatização é muito reduzido pois nesse período o edifício não tem muita utilização. Nos meses de Março e Abril os baixos consumos de energia em climatização podem dever-se a condições climáticas menos adversas. Repartindo o consumo total em climatização para as estações de aquecimento e arrefecimento, tem-se:

Distribuição Estimada do Consumo Anual de Energia em Climatização

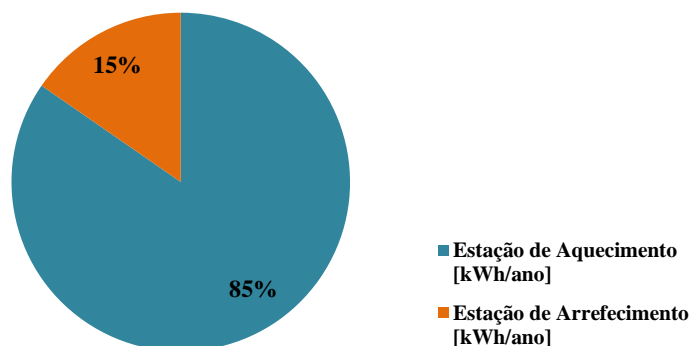


Figura 16: Distribuição estimada do consumo anual de energia em climatização do Edifício C.1.

Como se pode visualizar pelo gráfico da Figura 16, a energia consumida na estação de aquecimento é superior à energia consumida na estação de arrefecimento. O que está de acordo com ocupação do edifício que é maior nos meses correspondentes à estação de aquecimento.

3.1.6.2 Edifício C.2

A climatização no Edifício C.2 é realizada através de um sistema de aquecimento central constituído por uma caldeira a gás natural e por radiadores instalados nos compartimentos do edifício. O arrefecimento do edifício é realizado através de seis unidades de ar condicionado do tipo volume de refrigerante variável (VRV). No edifício foram também encontrados três equipamentos de ar condicionado *mono-split*. O consumo estimado de energia para climatização é de 95 571 kWh/ano, o que representa 46% do consumo total de energia do Edifício C.2. O gráfico da variação da energia mensal consumida pelo Edifício C.2 pode ser visualizado, na

Figura 17, de onde se pode observar que existe um grande consumo de energia nos meses de inverno e muito pouco consumo de energia nos meses de verão. Nos meses de meia estação estima-se que não existe consumo de energia.

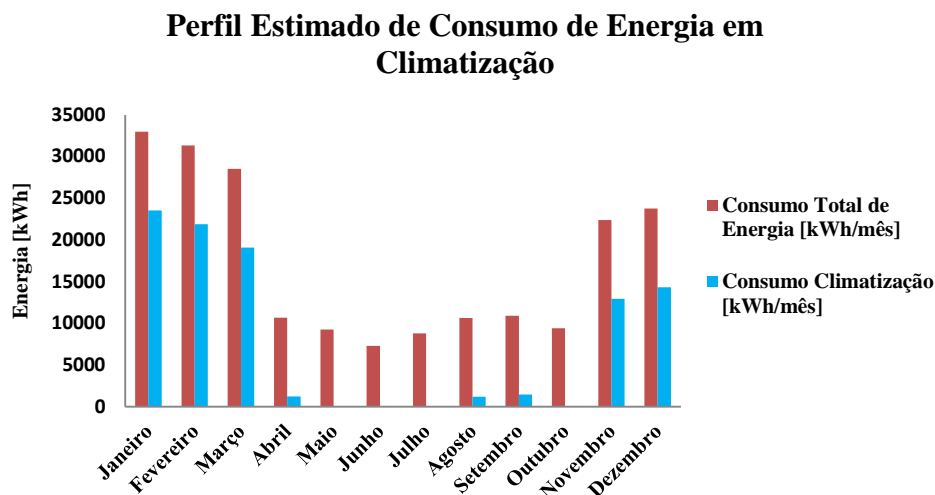


Figura 17: Consumos mensais estimados de energia em climatização em comparação com o consumo mensal total de energia eléctrica do Edifício C.2.

Repartindo o consumo total em climatização para as estações de aquecimento e arrefecimento, Figura 18.

Distribuição Estimada do Consumo Anual de Energia em Climatização

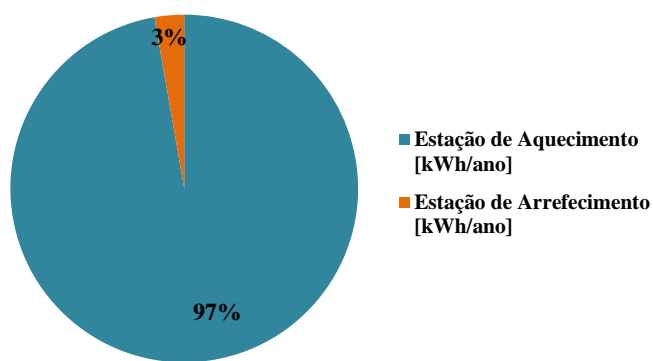


Figura 18: Distribuição estimada do consumo anual de energia em climatização do Edifício C.2.

Tem-se que praticamente toda a energia consumida em climatização ocorre na estação de aquecimento, ao que corresponde o consumo de gás natural pela caldeira para a produção de água quente que circula para os radiadores existentes nos compartimentos do edifício. O reduzido consumo de energia na estação de arrefecimento deve-se à baixa utilização do edifício neste período do ano e ao facto de os equipamentos de climatização serem energeticamente bastante eficientes.

3.1.6.3 Edifício C.3

A climatização no Edifício C.3 é realizada através de vários sistemas de climatização. No edifício existe um *chiller* e dez unidades de ar condicionado do tipo volume de refrigerante variável (VRV) para a produção de calor e frio e duas caldeiras a nafta que produzem calor e águas quentes sanitárias. A climatização do Edifício C.3 na estação de aquecimento é feita através das unidades de ar condicionado do tipo volume de refrigerante variável (VRV), caldeiras a nafta e um *chiller* que se encontram ligados aos radiadores instalados nos compartimentos do edifício enquanto a climatização na estação de arrefecimento é realizada através das unidades de ar condicionado do tipo volume de refrigerante variável (VRV) e pelo *chiller*. De notar que, estes sistemas de climatização climatizam diferentes sectores do edifício. O consumo estimado de energia para climatização e produção de águas quentes sanitárias é de 374 030 kWh/ano, o que representa 55% do consumo total de energia do Edifício C.2. O gráfico da variação da energia mensal consumida pelo Edifício C.2 pode ser visualizado na Figura 19.

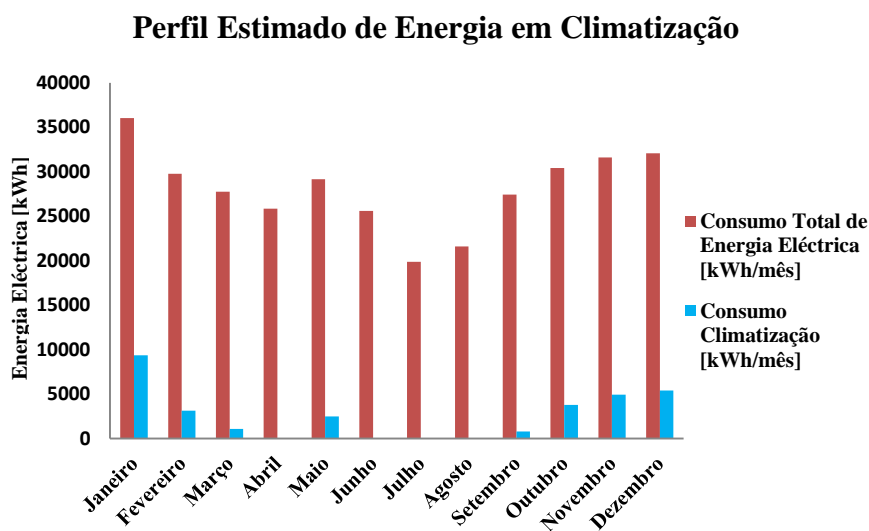


Figura 19: Consumos mensais estimados de energia em climatização em comparação com o consumo mensal total de energia eléctrica do Edifício C.3.

O consumo de energia, da Figura 19, corresponde apenas ao consumo de energia eléctrica pois não se conseguiu estimar o consumo mensal de nafta do edifício. Tal facto significa que o consumo de energia para climatização do edifício expresso na figura corresponde a todos os equipamentos de climatização que consomem energia eléctrica, ou seja, todos os equipamentos de climatização excepto a caldeira a nafta. Na Figura 19 é possível ver que estes equipamentos eléctricos de climatização funcionam maioritariamente na estação de aquecimento o que pode ser justificado pelo facto de os meses de pleno funcionamento do edifício corresponder a este período.

Repartindo o consumo total em climatização para as estações de aquecimento e arrefecimento, Figura 20, tem-se que praticamente toda a energia consumida em climatização ocorre na estação de aquecimento.

Distribuição Estimada do Consumo Anual de Energia em Climatização

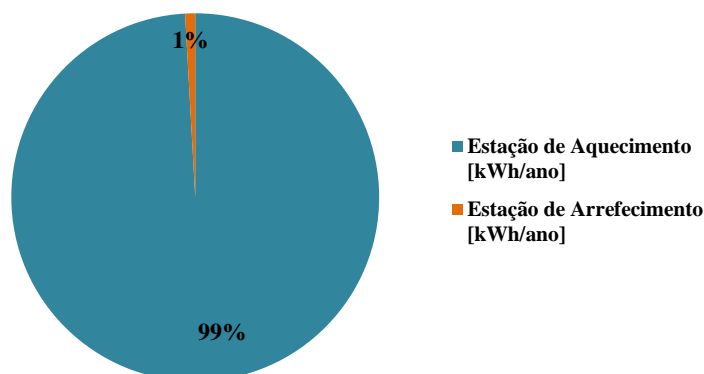


Figura 20: Distribuição estimada do consumo anual de energia em climatização do Edifício C.3.

Grande parte do consumo de energia em climatização na estação de aquecimento corresponde ao consumo de nafta pela caldeira para a produção de água quente que circula para os radiadores existentes nos compartimentos do edifício e para as águas quentes sanitárias. O peso que o consumo de energia em climatização inclui a produção de águas quentes sanitárias.

3.2 Entidade D

3.2.1 Caracterização Geral

A entidade D é constituída por um único edifício e situa-se na NUTS III da Grande Lisboa [50]. O edifício foi construído na segunda metade do século XIX e possui uma área útil de aproximadamente 2780m². O edifício possui a forma aproximada de um losango e as suas fachadas encontram-se orientadas aproximadamente nas direcções Nordeste (NE), Noroeste (NO), Sudoeste (SO) e Sudeste (SE). O edifício é constituído por cinco pisos e é utilizado actualmente como edifício de serviços. Os compartimentos deste edifício são utilizados maioritariamente como gabinetes, arquivos e arrumos. De notar que, existe também neste edifício uma biblioteca, um auditório e um espaço que funciona como bar/refeitório. No edifício trabalham 30 funcionários e o horário de funcionamento é das 8h às 22h durante os dias úteis de semana, encerrando nos feriados e fins-de-semana. De notar que, o período do dia em que existe maior actividade no edifício corresponde das 9h às 17h e que entre as 8h e as 9h e entre as 17h-22h, por norma, apenas estão no edifício os seguranças e os funcionários da limpeza.

3.2.2 Descrição da Envolvente

As paredes da fachada do edifício são constituídas por pedra e estuque e têm uma espessura de 0,50m. A cobertura do edifício é em telha de aba e canudo sobre estrutura de madeira. A cobertura interior é constituída por placas quadrangulares de contraplacado de madeira de 0,05m de espessura e por superfícies quadrangulares de vidro simples nos locais onde está instalada a iluminação do corredor do segundo piso.

Os vãos envidraçados existentes neste edifício são constituídos por vidro simples com caixilharia de alumínio sem corte térmico. Estes terão sido instalados no edifício em 2006. De referir que, as janelas existentes no edifício possuem estores exteriores.

3.2.3 Consumo de Energia

A Entidade D apenas consome energia eléctrica, possuindo um contador de energia eléctrica em baixa tensão especial (BTE), com uma potência contratada de 81kW. Este edifício possui um contrato de ciclo diário com tarifa tetra-horária. O consumo total anual de electricidade deste edifício é de 177 372 kWh/ano. A distribuição do consumo anual de electricidade pode ser observada na Figura 21.

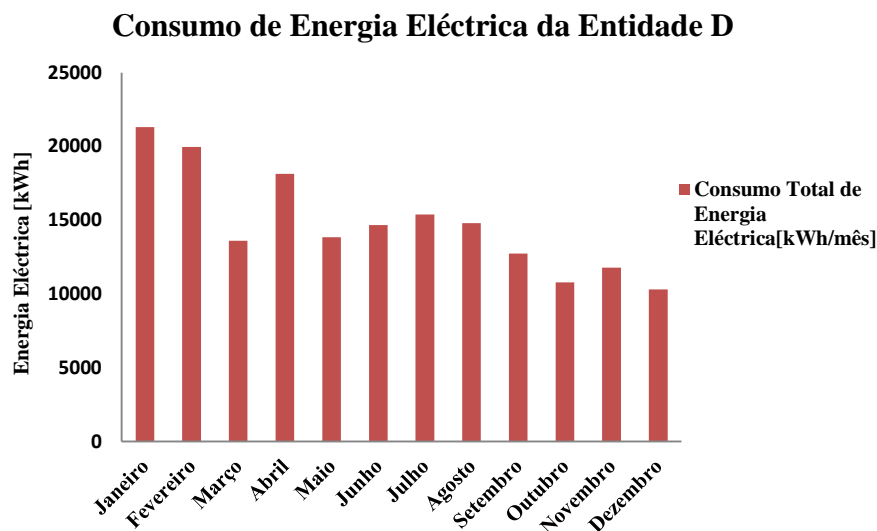


Figura 21: Consumo mensal de energia eléctrica da Entidade D.

De observar que, o elevado consumo de energia nos primeiros meses do ano relativamente aos últimos meses do ano deve-se ao facto de o sistema de climatização se encontrar avariado até ao mês de Setembro.

A distribuição dos consumos de energia eléctrica por períodos horários pode ser visualizada na Figura 22.

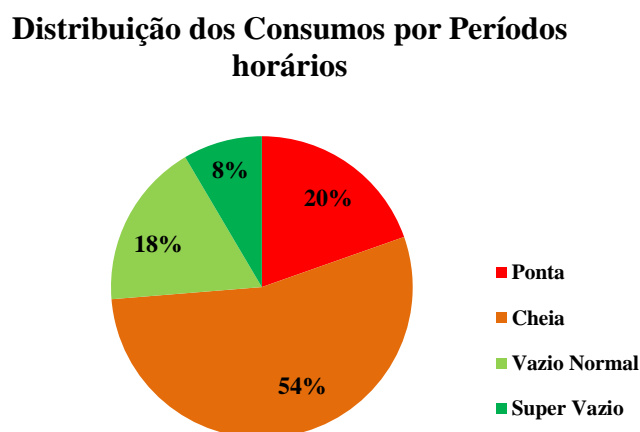


Figura 22: Distribuição dos consumos por períodos horários.

A Figura 22 evidencia que a maior parte do consumo de electricidade é realizado no período de cheia seguido dos períodos de ponta e vazio. Da Figura 23, pode-se observar que o funcionamento do edifício apenas ocorre nos períodos de cheia e ponta.

Cronograma Diário do Consumo de Electricidade

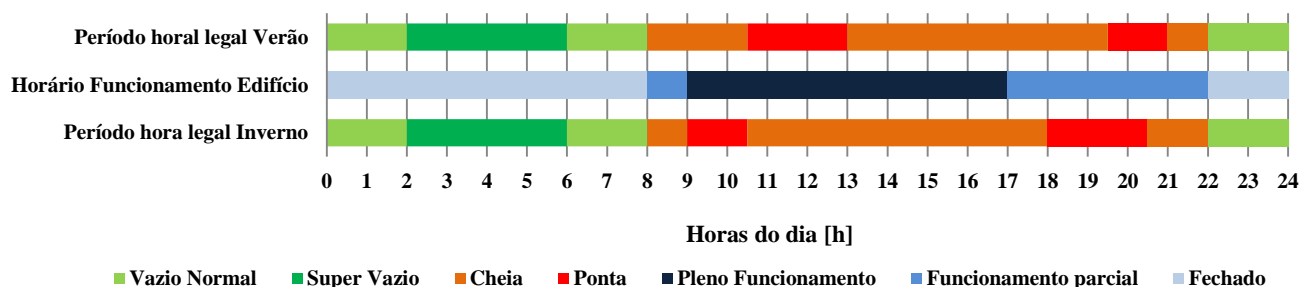


Figura 23: Ciclo diário para baixa tensão especial dos períodos de hora legal de Inverno e Verão e período diário de funcionamento do edifício.

O consumo nos períodos de vazio normal e super vazio é devido a alguns equipamentos informáticos e ao ar condicionado dos servidores do edifício que ficam ligados durante todo o dia. De referir que, a percentagem superior do consumo de electricidade do período de vazio normal em relação ao período de super vazio é devida ao número de horas de vazio normal ser superior ao número de horas de super vazio, apesar de também poder ser devida ao facto de os funcionários da segurança e limpeza podem chegar ou sair antes ou depois da hora normal de funcionamento do edifício.

3.2.4 Desagregação dos Consumos de Energia

O consumo de energia da entidade D corresponde essencialmente à iluminação, a outros consumos e à climatização. A desagregação dos consumos de energia por utilização do edifício pode ser visualizada na Figura 24.

Desagregação Estimada dos Consumos de Energia

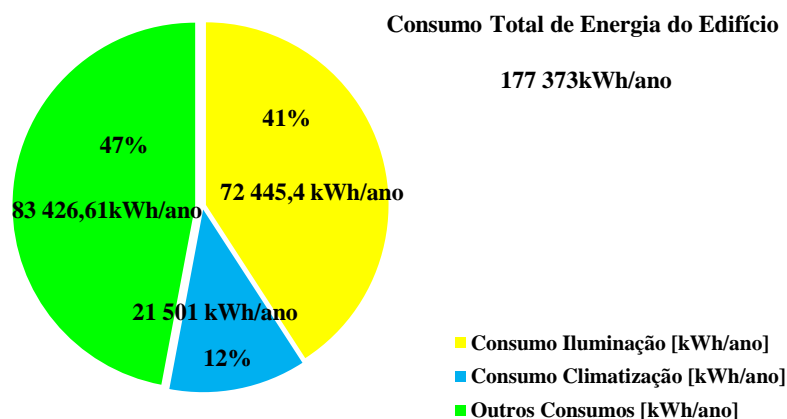


Figura 24: Gráfico da desagregação estimada dos consumos de energia por utilização da Entidade D.

De salientar que, os valores de energia consumida por climatização e iluminação foram obtidos por estimação. Os outros consumos correspondem essencialmente ao elevador do edifício e aos equipamentos informáticos.

3.2.5 Consumo de Energia em Iluminação

A iluminação da Entidade D possui um consumo estimado de $72445,4kWh/ano$, o que corresponde a 40,8% do consumo total de energia da Entidade D. A iluminação existente no edifício foi obtida por levantamento às instalações do mesmo e pode ser visualizada na Figura 25.

Lâmpadas Existentes no Edifício

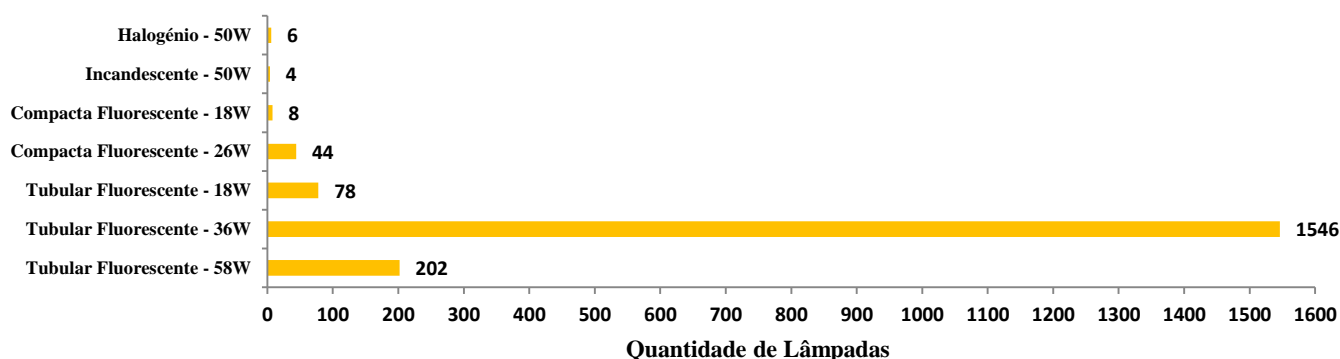


Figura 25: Tipo e quantidade de lâmpadas existentes no edifício da Entidade D.

A iluminação existente no edifício é pouco eficiente podendo ser reduzido o seu consumo por meio de iluminação mais eficiente. De referir que, quando foi realizado o levantamento da iluminação existente no edifício os ocupantes de alguns compartimentos do edifício continuavam a ter a iluminação ligada em pleno dia, mesmo nos compartimentos cujas fachadas se encontravam viradas a Sudeste (SE) e Sudoeste (SO), não utilizando a iluminação natural proveniente das janelas do edifício, que possuíam estores, ou seja, podem nivelar o nível de iluminação que entra no compartimento.

3.2.6 Consumo de Energia em Climatização

A climatização do edifício da Entidade D é feita através de duas unidades exterior *chiller*/bomba de calor que produzem simultaneamente calor e frio. As unidades interiores de climatização do edifício correspondem a ventilo-convectores e climatizam 70 espaços do edifício. Como já referido este sistema de climatização esteve avariado até ao mês de Setembro, pois as tubagens entre as unidades exteriores e interiores estavam danificadas. No edifício existem igualmente cinco equipamentos de ar condicionado, correspondendo quatro deles a *mono-split* e um a *multi-split*. O consumo estimado de energia para climatização é de $21\,501kWh/ano$, o que representa 12,1% do consumo total de energia da Entidade D. O gráfico da variação da energia mensal consumida pela Entidade D, apresentado na Figura 26, evidencia que existe um grande consumo de energia adicional nos meses em que o sistema de climatização central do edifício não esteve a funcionar (Janeiro a Abril). O incremento no consumo de energia nesse período deveu-se à utilização de radiadores eléctricos portáteis por parte dos ocupantes do edifício. De notar que, a inexistência estimada de consumo de energia nos meses de Março e Maio pode ter sido devida às condições amenas do clima nesses períodos.

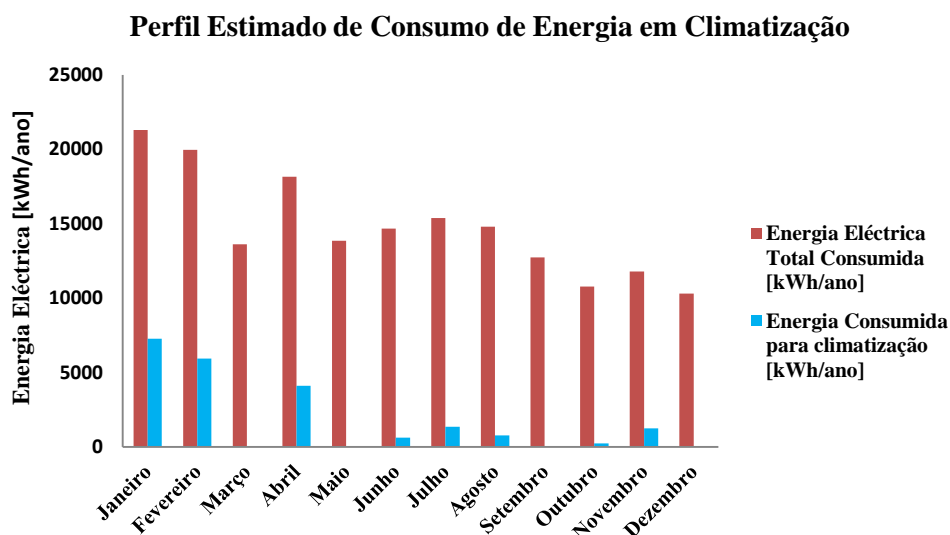


Figura 26: Consumos mensais estimados de energia em climatização em comparação com o consumo mensal total de energia da Entidade D.

A inexistência de consumo estimado de energia em climatização no mês de Dezembro quando o sistema de climatização já se encontrava em funcionamento pode ser devida ao facto de nesse mês existirem feriados e as férias de natal, e como tal, existam menos funcionários nesse período. De notar que, mesmo o consumo total de energia no mês de Dezembro é reduzido quando comparado ao mês vizinho de Novembro.

Distribuição Estimada do Consumo Anual de Energia em Climatização

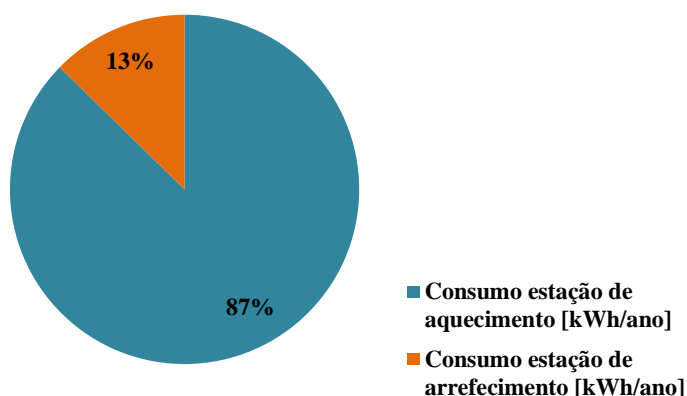


Figura 27: Distribuição estimada do consumo anual de energia em climatização da Entidade D.

Como se pode visualizar na Figura 27, a energia consumida na estação de aquecimento é superior à energia consumida na estação de arrefecimento. A grande percentagem de consumo de energia na estação de aquecimento em relação à estação de arrefecimento pode ter sido devida à utilização de radiadores eléctricos no período de avaria do sistema central de climatização.

4 Apresentação, análise e discussão de resultados

4.1 Comparação de Edifícios

4.1.1 Características Gerais dos Edifícios Estudados

No presente estudo foram analisados vários edifícios de diferentes tipologias cujas características gerais podem ser observadas na seguinte tabela:

Tabela 6: Características gerais dos edifícios estudados.

Designação	Nº Edifícios	Tipologia	Ano de Construção	Área de Pavimento [m^2]	Nº Ocupantes	Energia Consumida [kWh/ano]
Pólo A.1	2	Laboratórios	1964/1990	2100	18	84 394
Pólo A.2	2	Laboratórios	1905/1992	4150	25	128 972
Pólo A.3	2	Laboratórios	1942/1992	4100	47	125 764
Pólo A.4	6	Laboratórios	1920-1986	9390	54	632 472
Pólo A.5	1	Laboratórios	2001	6700	60	746 526
Pólo A.6	3	Laboratórios	1960-1990	8600	88	638 846
Edifício A.6.1	1	Laboratórios	1960	2990	10	234 791
Edifício A.6.2	1	Laboratórios	1960	1090	15	138 804
Edifício A.6.3	1	Laboratórios	2002	5800	100	718 242
Pólo B	6	Ensino Superior	2008-2015	11578	1460	1 466 110
Edifício B.7	1	Residência	1960	470	17	25 196
Edifício C.1	1	Escritórios	2ª Metade do Séc. XIX	2000	2	25 666
Edifício C.2	1	Ensino Superior	1989	4700	815	205 859
Edifício C.3	1	Ensino Superior	1970	5600	1200	720 067
Edifício D	1	Escritórios	2ª Metade do Séc. XIX	2780	30	177 372
Pólo E	3	Ensino Superior	1989-2004	8500	855	591 224
Edifício F.1	1	Piscinas	2005	3300	620	1 271 945
Edifício F.2	1	Escritórios	1997	1200	35	37 192

De referir que, os edifícios com tipologia de laboratório possuem igualmente gabinetes e espaços com funções variadas no seu interior. Nos edifícios correspondentes a estabelecimentos de ensino superior os seus ocupantes correspondem à soma dos alunos e funcionários.

4.1.2 Comparação dos Edifícios de Acordo com a Sua Tipologia

Os edifícios descritos na tabela 6 serão comparados através de índices de eficiência energética e de acordo com a sua tipologia considerando um edifício típico e um edifício com um desempenho energético elevado da sua tipologia. Os índices de eficiência energética que serão utilizados nesta análise serão o consumo específico de energia por unidade de área de pavimento, expresso em $kWh/m^2 \cdot ano$, e o consumo específico de energia por ocupante, expresso em $kWh/ocup \cdot ano$. O consumo específico de energia por unidade de área de pavimento é o parâmetro mais utilizado para determinar a eficiência energética de um edifício, no entanto não tem em conta o impacto que o número de ocupantes tem no consumo de energia do edifício, o que torna o índice de consumo específico de energia por ocupante interessante nesta análise [51]. A obtenção do índice de consumo específico de energia por unidade de área, para os edifícios caso de estudo, é feita dividindo o consumo anual de energia do edifício pela área útil do mesmo enquanto o índice de consumo específico de energia por ocupante, para os edifícios caso de estudo, é determinado dividindo-se o consumo anual de energia do edifício pelo número de ocupantes do mesmo.

4.1.2.1.1 Tipologia de Laboratório

▪ Índice de Consumo Específico de Energia

Os índices de consumo específico de energia para um laboratório típico e um laboratório energeticamente eficiente são respectivamente $124 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ e $110 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ respectivamente [52]. Estes valores apenas contemplam o consumo de energia eléctrica pois os laboratórios caso de estudo também apenas consomem energia eléctrica. Os índices de consumo específico de energia dos edifícios caso de estudo, edifício típico e edifício energeticamente eficiente podem ser visualizados na seguinte figura.

Índices de Consumo Específico de Energia

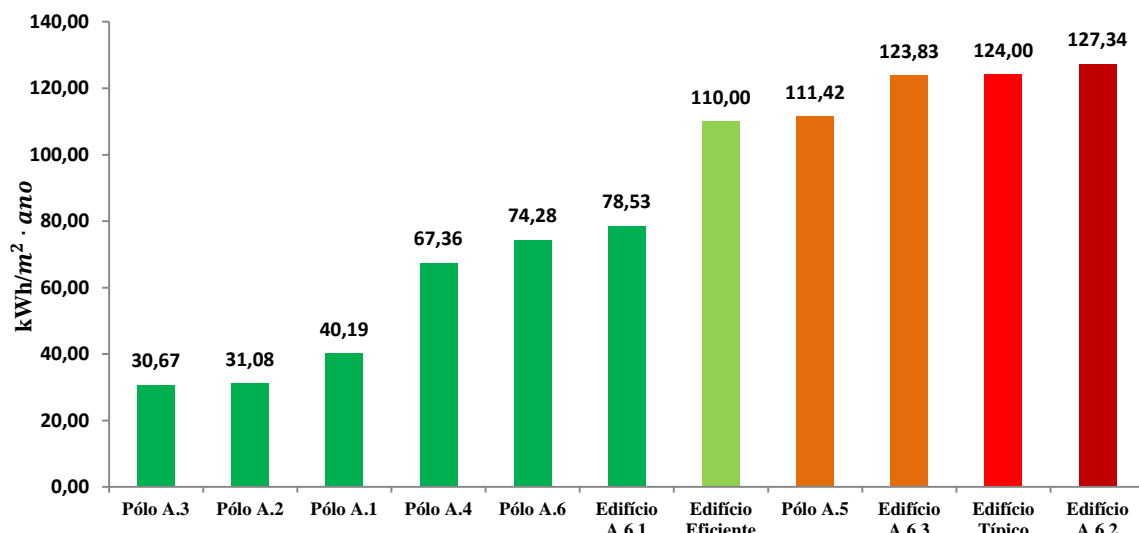


Figura 28: Índices de consumo específico de energia dos edifícios caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de laboratório. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.

Muitos dos laboratórios caso de estudo possuem valores de índice de consumo específico de energia abaixo do edifício típico energeticamente eficiente, conforme se pode visualizar pela Figura 28. Tal constatação não se deve ao facto desses edifícios serem bastante eficientes energeticamente mas resulta da baixa utilização dos equipamentos dos laboratórios destes edifícios. Além disso, alguns destes edifícios possuem áreas úteis bastante elevadas ocupadas por outro tipo de funções como é o caso de gabinetes e espaços de armazém ou arrumos e poucos ocupantes no seu interior o que resulta num baixo consumo de energia por metro quadrado de edifício.

▪ Índice de Consumo Específico de Energia por Ocupante

O índice de consumo específico de energia por ocupante nos edifícios correspondentes ao laboratório típico e o laboratório energeticamente eficiente terá em conta a densidade de ocupação típica de laboratórios que é 25 ocupantes por 100 m^2 [53]. A obtenção deste índice para os edifícios correspondentes ao laboratório típico e o laboratório energeticamente eficiente será feita dividindo o índice de consumo específico de energia pela densidade de ocupação típica dos laboratórios. Os índices de consumo específico de energia por ocupante dos edifícios caso de estudo, edifício típico e edifício energeticamente eficiente podem ser observados na seguinte figura.

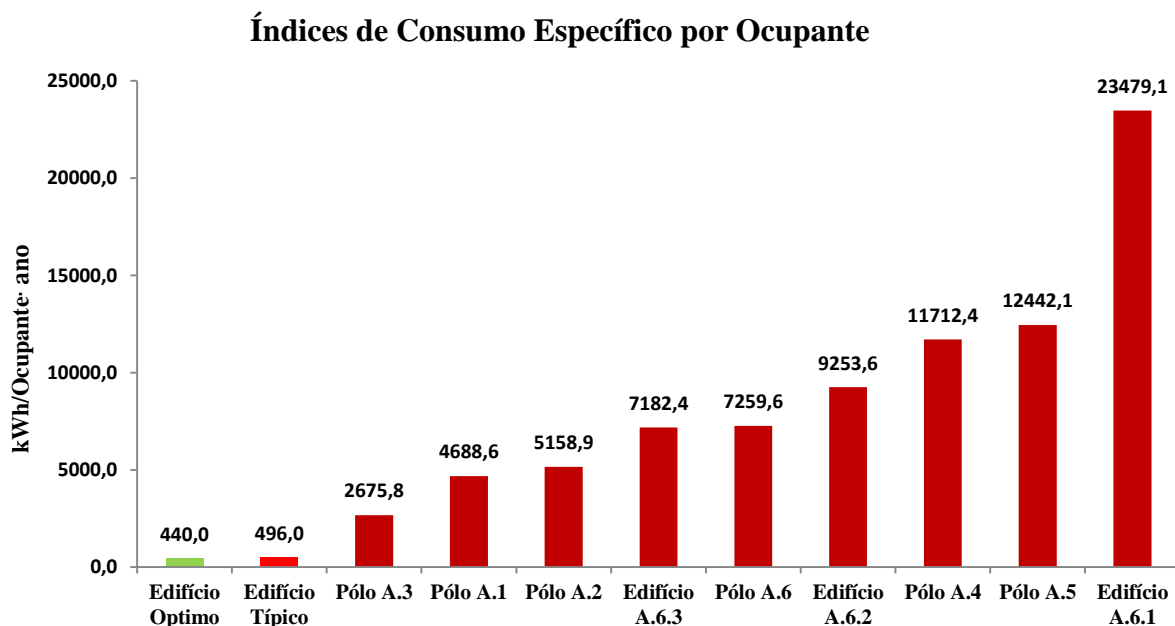


Figura 29: Índices de consumo específico de energia por ocupante dos edifícios caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de laboratório. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.

Os índices de consumo específico de energia por ocupante dos edifícios caso de estudo são superiores aos valores do edifício de laboratórios típico e o edifício energeticamente eficiente conforme se pode verificar na Figura 29. Portanto, nos edifícios caso de estudo cada ocupante precisa de mais energia do que nos edifícios de laboratórios típicos e energeticamente eficientes. Tal constatação deve-se ao facto de os equipamentos de iluminação e climatização utilizados no edifício serem muito pouco eficientes o que resulta em grandes consumos de energia. É importante referir que, apesar de não se ter analisado os consumos de energia dos equipamentos de laboratório dos edifícios caso de estudo pode igualmente haver alguma ineficiência energética dos mesmos em relação a equipamentos mais eficientes.

4.1.2.1.2 Tipologia de Piscinas

▪ Índice de Consumo Específico de Energia

Os índices de consumo específico de energia para uma piscina típica e uma piscina energeticamente eficiente são respectivamente $541 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ e $404 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ respectivamente [54]. Os Índices de consumo específico de energia do edifício caso de estudo, edifício típico e edifício energeticamente eficiente podem ser visualizados na seguinte figura.

Índices de Consumo Específico de Energia

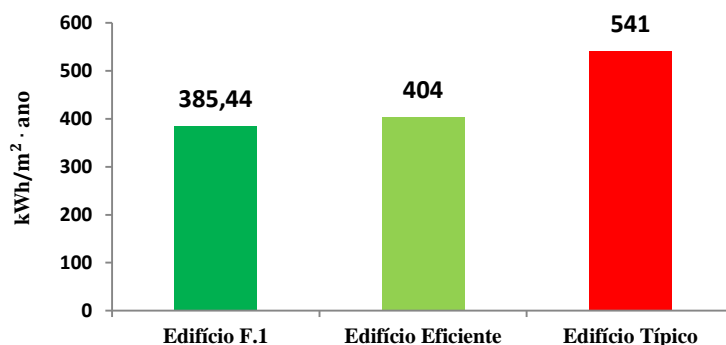


Figura 30: Índices de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de piscina. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.

O valor de índice de consumo específico de energia do edifício caso de estudo é inferior ao edifício eficiente, como se pode constatar pela Figura 30. Isto resulta do facto de o edifício caso de estudo ser de construção recente e possuir a iluminação e a climatização bastante eficientes, isto é, iluminação do tipo LED e equipamentos de ar condicionado e chillers eficientes. Os equipamentos do edifício que apresentavam alguma ineficiência energética eram a iluminação de emergência e a caldeira.

▪ Índices de Consumo Específico de Energia por Ocupante

Os índices de consumo específico de energia por ocupante nos edifícios correspondente à piscina típica e à piscina energeticamente eficiente irão considerar a densidade de ocupação típica de piscinas que é $7m^2$ por ocupante [55]. Para se determinar este índice para os edifícios correspondentes à piscina típica e à piscina energeticamente eficiente basta multiplicar o indicador de consumo específico de energia pela densidade de ocupação típica das piscinas. Os índices de consumo específico de energia por ocupante do edifício caso de estudo, edifício típico e edifício energeticamente eficiente podem ser visualizados na Figura 31.

Índices de Consumo Específico de Energia por Ocupante

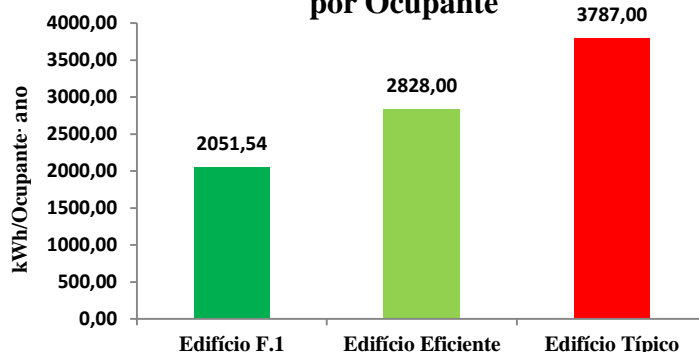


Figura 31: Índices de consumo específico de energia por ocupante dos edifícios caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de piscina. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.

O valor do índice de consumo específico de energia por ocupante é inferior ao do edifício energeticamente eficiente como se pode visualizar na Figura 31. O que reforça o facto de o

edifício ser energeticamente eficiente, e como tal, necessitar de pouca energia para suprir as necessidades dos seus ocupantes.

4.1.2.1.3 Tipologia de Escritório

▪ Índice de Consumo Específico de Energia

Os índices de consumo específico de energia para um escritório típico e um escritório energeticamente eficiente são respectivamente $101 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ e $43 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ respectivamente [56]. Os índices de consumo específico de energia dos edifícios caso de estudo, edifício típico e edifício energeticamente eficiente podem ser visualizados na Figura 32.

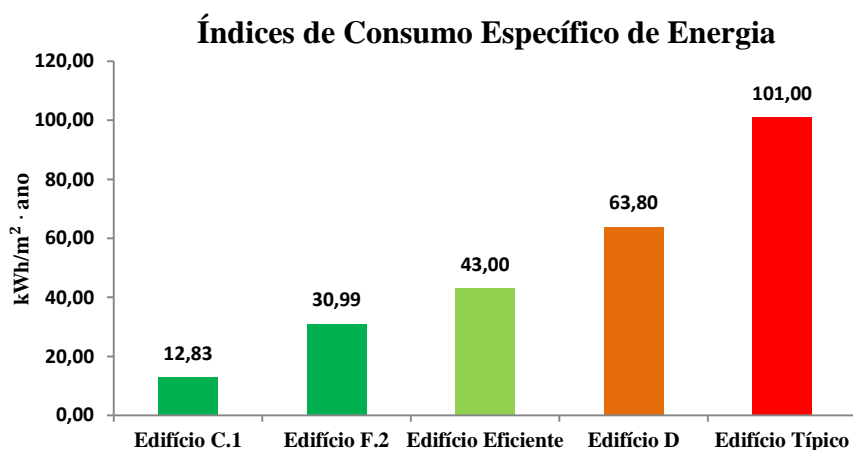


Figura 32: índices de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de escritório. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.

Dois dos escritórios caso de estudo possuem valores de índice de consumo específico de energia abaixo do edifício típico energeticamente eficiente, como se pode verificar na Figura 32. O que é devido ao número de compartimentos destes dois edifícios que possuem pouca ou quase nenhuma utilização e também ao facto destes possuírem compartimentos com outras funcionalidades como é o caso de arrumos ou arquivos. Tais factos resultam num baixo consumo de energia por metro quadrado de edifício.

▪ Índice de Consumo Específico de Energia por Ocupante

Os índices de consumo específico de energia por ocupante nos edifícios correspondentes ao edifício de escritório típico e um edifício de escritório energeticamente eficiente terão em consideração a densidade de ocupação típica de edifícios de escritórios que é 20 m^2 por ocupante [53]. No edifício energeticamente eficiente como se possuía informação sobre o número de ocupantes optou-se por se calcular igualmente o índice de consumo específico de energia por ocupante com esses valores. O edifício energeticamente eficiente possui 1500 m^2 de área útil estimada e 20 ocupantes [55]. Os índices de consumo específico de energia por ocupante do edifício caso de estudo, edifício típico e edifício energeticamente eficiente podem ser visualizados na Figura 33.

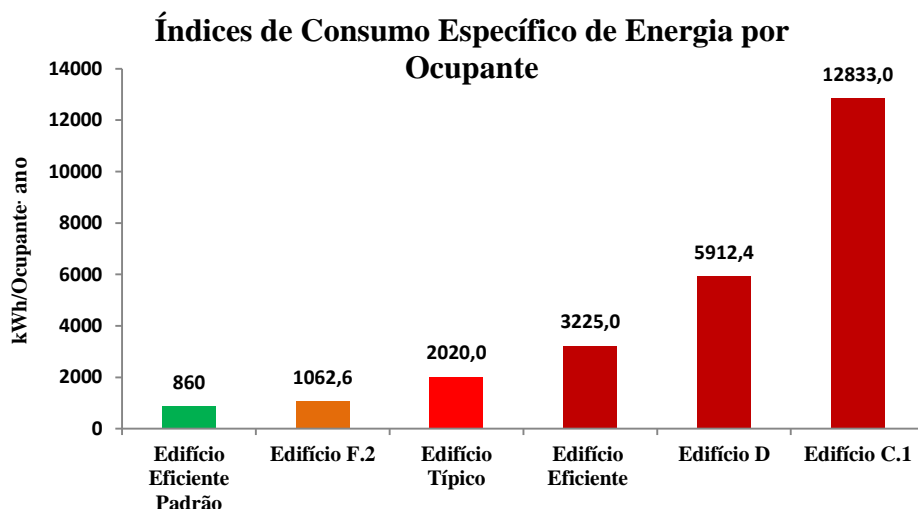


Figura 33: Índices de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de escritório. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.

Por visualização da Figura 33 pode-se ver que dois dos edifícios caso de estudo possuem valor do indicador de consumo específico de energia por ocupante superior ao do edifício típico. De notar que, no edifício eficiente quando se utiliza os dados relativos à sua verdadeira ocupação possui um valor de indicador de consumo específico de energia por ocupante superior ao edifício típico devido ao facto de a sua densidade de ocupação ser muito reduzida. No entanto quando se utiliza a densidade de ocupação para edifícios de tipologia de escritório o edifício continua a ser o mais eficiente. Tal facto, torna-se interessante uma vez que mesmo edifícios que consideramos serem energeticamente eficientes podem ter um consumo de energia *per capita* algo elevado quando a sua densidade de ocupação é baixa.

4.1.2.1.4 Tipologia de Estabelecimento de Ensino Superior

▪ Índices de Consumo Específico de Energia

Os índices de consumo específico de energia para um edifício com tipologia de estabelecimentos do ensino superior típico e um energeticamente eficiente são respectivamente $81,9 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ e $25 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ respectivamente [57,58]. Os índices de consumo específico de energia dos edifícios caso de estudo, edifício típico e edifício energeticamente eficiente podem ser visualizados na Figura 34.

Indicadores de Consumo Específico de Energia

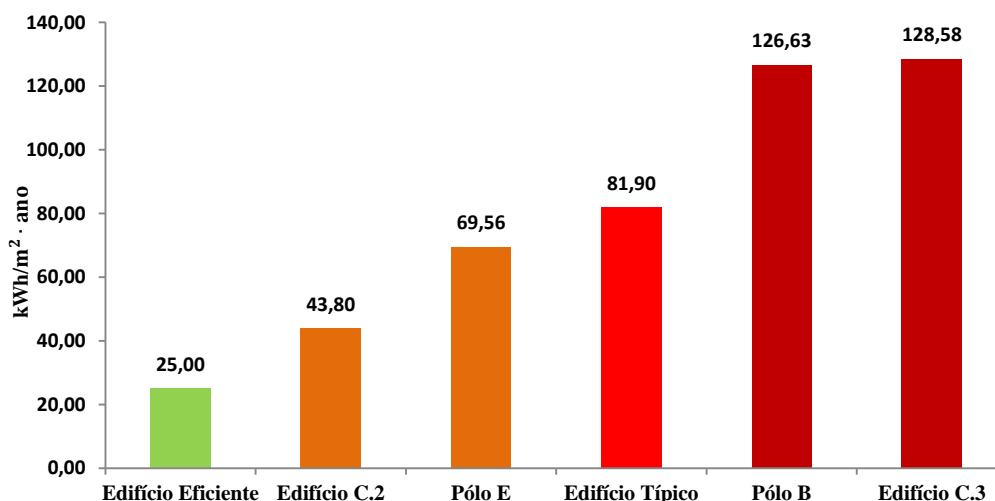


Figura 34: Indicadores de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de estabelecimentos de ensino superior. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.

Dois dos estabelecimentos de ensino superior caso de estudo possuem valores de índice de consumo específico de energia abaixo do edifício típico enquanto os outros dois possuem valores acima, como se pode constatar pela Figura 34. Os estabelecimentos de ensino com o valor de índice de consumo específico de energia superior ao edifício típico possuem este valor devido ao facto de a sua climatização consumir muita energia.

▪ Índice de Consumo Específico de Energia por Ocupante

Os índices de consumo específico de energia por ocupante nos edifícios correspondentes a um estabelecimento de ensino superior típico e energeticamente eficiente terão em conta a densidade de ocupação típica desta tipologia que é 25 ocupantes por $100m^2$ [53]. Para se obter este índice para os edifícios correspondentes ao estabelecimento de ensino superior típico e energeticamente eficiente vai-se dividir o indicador de consumo específico de energia pela densidade de ocupação típica dos estabelecimentos de ensino superior. Os índices de consumo específico de energia por ocupante do edifício caso de estudo, edifício típico e edifício energeticamente eficiente podem ser visualizados na Figura 35.

Indicadores de Consumo Específico de Energia por Ocupante

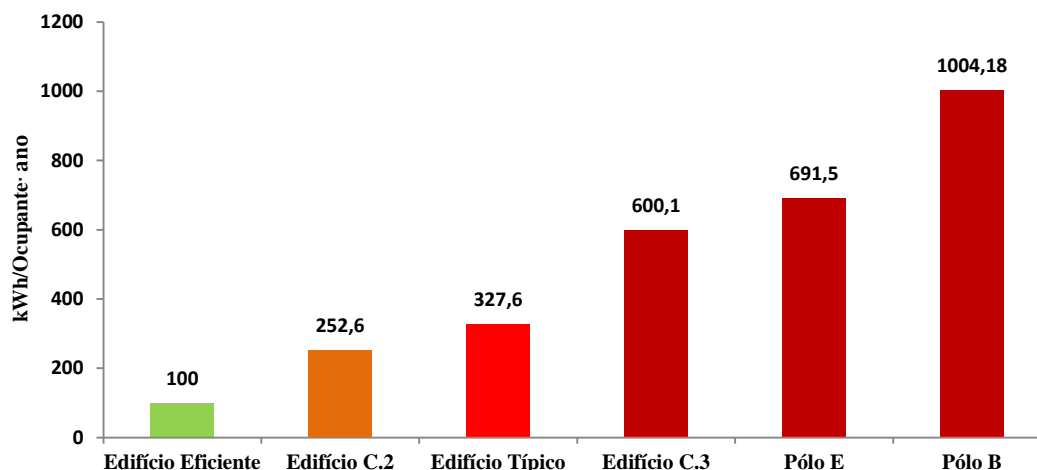


Figura 35: Índices de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de estabelecimento de ensino superior. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.

Três dos quatro estabelecimentos de ensino caso de estudo possuem valores de índice de consumo específico de energia por ocupante superior ao estabelecimento de ensino de superior típico enquanto o outro estabelecimento de ensino caso de estudo possui um valor de índice de consumo específico de energia por ocupante entre o edifício típico e o energeticamente eficiente, conforme se pode observar na Figura 35. Os estabelecimentos de ensino Pólo B.1 e Edifício C.3 possuem grande consumo de energia devido à fonte de energia utilizada para a climatização enquanto o Pólo E possui um grande consumo de energia *per capita* pois possui baixa densidade de ocupação.

4.1.2.1.5 Tipologia de Residência

▪ Índice de Consumo Específico de Energia

Os índices de consumo específico de energia para um edifício com tipologia de residência típico e um energeticamente eficiente são respectivamente $120,7 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ e $38,1 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ respectivamente [55,59]. De notar que, o valor do indicador de consumo específico de energia do edifício típico com tipologia de residência foi escolhido tendo em conta a hotel de 3 ou menos estrelas devido à sua similaridade com as residências. Os índices de consumo específico de energia do edifício caso de estudo, edifício típico e edifício energeticamente eficiente podem ser visualizados na Figura 36.

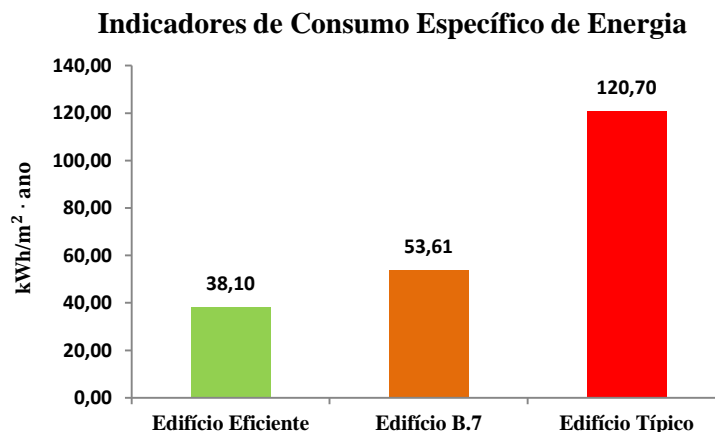


Figura 36: Índices de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de residência. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.

O edifício caso de estudo possui um valor de índice de consumo específico de energia entre o edifício típico e o edifício energeticamente eficiente, apesar de encontra-se mais próximo do edifício eficiente que do edifício típico, conforme se pode visualizar pela Figura 36. Tal facto, resulta não da eficiência energética do edifício pois este não possui qualquer tipo de isolamento térmico ou mesmo iluminação ou climatização eficiente, mas sim do baixo consumo de energia do edifício pois além de possuir baixa ocupação ao longo do ano o seu consumo encontra-se centrado em períodos do dia muito curtos quando os alunos acordam e saem do edifício e quando chegam e vão dormir.

▪ Índice de Consumo Específico de Energia por Ocupante

Os índices de consumo específico de energia por ocupante nos edifícios correspondentes a uma residência típica e uma energeticamente eficiente irão utilizar a densidade de ocupação típica desta tipologia que é 10 ocupantes por $100m^2$ [53]. De notar que, o valor de densidade de ocupação foi escolhido para quartos e sala de estar por ser a tipologia que mais se aproximava dos edifícios de tipologia de residência. Para se obter este índice para os edifícios correspondentes à tipologia típica e energeticamente eficiente basta dividir-se o índice de consumo específico de energia pela densidade de ocupação típica da residência. Os índices de consumo específico de energia por ocupante do edifício caso de estudo, edifício típico e edifício energeticamente eficiente podem ser visualizados na Figura 37.

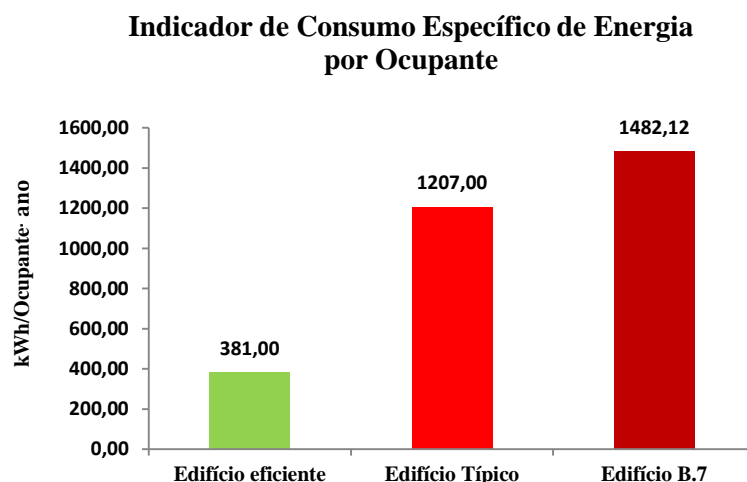


Figura 37: Indicadores de consumo específico de energia do edifício caso de estudo e dos edifícios típico e energeticamente eficiente com tipologia de estabelecimento de ensino superior. As cores escolhidas para representar os edifícios que possuem índices com valores muito elevados e índices com valores muito baixos correspondem ao vermelho escuro para edifícios muito pouco eficientes e verde-escuro para edifícios muito eficientes.

O edifício caso de estudo possui valores de índice de consumo específico de energia por ocupante superior ao de uma residência típica, como se pode observar na Figura 37. O que está de acordo com os equipamentos de climatização, iluminação e características construtivas do edifício caso de estudo que ainda são pouco eficientes energeticamente.

4.1.3 Nível de Eficiência Energética dos Edifícios Estudados

Os valores dos indicadores de eficiência energética dos edifícios estudados por tipologia e o número de edifícios por tipologia que estão classificados mediante os respectivos índices de eficiência energética serem superiores ou inferiores aos valores de edifício típicos e eficiente podem ser visualizados na seguinte tabela resumo:

Tabela 7: Tabela resumo dos valores dos índices de eficiência energética e respectivo número de edifícios por classe de comparação com os edifícios típico e eficiente por tipologia.

Índices de Eficiência Energética		Consumo Específico de Energia por Unidade de Área de Pavimento		Consumo Específico de Energia por Ocupante	
Tipologia	Classe de Avaliação	[kWh/(m ² · ano)]	Nº Edifícios	[kWh/(ocup · ano)]	Nº Edifícios
Laboratórios		127,3	1	[2676;23479]	9
		124,0	1	496	1
		[111,4;123,8]	2	-	0
		110,0	1	440,0	1
		[30,7;78,5]	6	-	0
Piscinas		-	0	-	0
		541	1	3787	1
		-	0	-	0
		404	1	2828	1
		385,4	1	2052	1
Escritórios		-	0	[3225*;12 833]	3
		101	1	2020	1
		63,6	1	1063	1
		43	1	860	1
		[12,8;31]	2	-	0
Ensino Superior		[126,6;128,6]	2	[600;1004]	3
		81,9	1	327	1
		[43,8;69,6]	2	253	1
		25	1	100	1
		-	0	-	0
Residência		-	0	1482	1
		120,7	1	1207	1
		53,6	1	-	0
		38,1	1	381	1
		-	0	-	0
Classes de comparação dos Índices de Consumo de Energia entre Edifícios					
Classes	Valor Superior ao Edifício Típico	Valor do edifício Típico	Valor entre Edifício Típico e o Edifício Eficiente	Valor do Edifício Eficiente	Valor Inferior ao Edifício Eficiente

O número de edifícios por classe de comparação de índices de consumo de energia entre edifícios varia conforme o tipo de índice de eficiência energético utilizado. Conforme se pode constatar pela tabela 7, quando se substitui o índice de consumo específico de energia por unidade de área de pavimento pelo índice de consumo específico de energia por ocupante, por norma, a classe de comparação dos edifícios estudados piora o que evidencia a importância que a ocupação do edifício tem no consumo de energia.

4.2 Medidas de Eficiência Energética

Com vista à redução dos consumos de energia dos edifícios caso de estudo foram consideradas um conjunto de medidas de eficiência energética. Estas medidas incidiram na iluminação, na envolvente dos edifícios, equipamentos de climatização e sistemas de produção de águas quentes sanitárias. As poupanças de energia para cada uma destas medidas serão apresentadas através dos índices de eficiência energética de consumo específico de energia por unidade de área de pavimento e consumo específico de energia por ocupante.

4.2.1 Iluminação

O consumo de energia em iluminação foi reduzido substituindo a iluminação existente por iluminação eficiente do tipo LED. Na seguinte tabela pode ser visualizada a iluminação existente nos edifícios caso de estudo.

Tabela 8: Tipo e quantidades de lâmpadas existentes nos edifícios caso de estudo. As cores expressas na tabela correspondem aos tipos de potências, em Watts, das lâmpadas. As lâmpadas que possuem maior potência estão seleccionadas a vermelho enquanto as lâmpadas com menor potência estão seleccionadas a verde-escuro.

Tipo de Lâmpada	Pólo A.1	Pólo A.2	Pólo A.3	Pólo A.4	Pólo A.5	Pólo A.6	Edifício A.6.1	Edifício A.6.2	Edifício A.6.3	Pólo B	Pólo B.7	Edifício C.1	Edifício C.2	Edifício C.3	Edifício D	Pólo E	Pólo F.1	Pólo F.2
Incandescentes – 100W	-	-	78	37	76	142	-	2	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-
Incandescentes – 75W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	10	22	8	-	-	-	39
Incandescentes – 50W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-
Projector iodetos Metálicos - 400W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	4
Projector iodetos Metálicos - 300W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	10	-	-	-	-
Projector iodetos Metálicos - 150W	-	-	-	-	-	7	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-
Projector iodetos Metálicos - 100W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
Lâmpada vapor de Sódio - 150W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-
Lâmpada vapor de Sódio - 120W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-
Halogéneo Clássica – 53W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	6	-	-	-
Dicróicas GU 10 – 50W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-
Dicróicas GU 10 – 35W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
Compactas Fluorescentes – 32W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	-	10	-	-	-	-
Compactas Fluorescentes – 28W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95	-	-	-	-	-	16
Compactas Fluorescentes – 26W	-	-	-	-	-	-	-	-	224	-	-	-	-	-	44	34	-	-
Compactas Fluorescentes – 18W	-	-	-	-	692	443	-	306	157	26	-	-	-	-	8	44	-	-
Compactas Fluorescentes – 13W	-	-	-	-	-	-	-	-	166	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Compactas Fluorescentes – 11W	-	-	-	-	-	-	-	-	283	-	-	12	-	-	-	49	-	-
Tubulares Fluorescentes T8 - 58W	56	11	285	256	726	411	106	44	798	197	26	176	118	205	202	449	-	-
Tubulares Fluorescentes T8 - 36W	82	130	103	785	381	539	43	94	38	511	46	81	298	478	1546	1315	-	14
Tubulares Fluorescentes T8 - 18W	-	160	56	159	188	69	1	6	-	270	2	40	69	122	78	246	-	620
Fluorescente Emergência – 12W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	11	-	-	60	6
Tubulares Fluorescentes T5 - 35W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	89	-	-	-	-
Tubulares Fluorescentes T5 - 28W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	160	-	-	-	112	-	-	-	-
Tubulares Fluorescentes T5 - 14W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	323	-	-	-	4	-	-	-	-
LED - 23W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96	208	-	-	-	-
LED - 16W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	146	-	-	-	-
LED - 9W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	-	-	20	42	-	-	-	-

Por observação da tabela 8 pode-se ver que a maioria das lâmpadas existentes nos edifícios caso de estudo corresponde a lâmpadas do tipo fluorescente. O consumo de energia através da implementação de iluminação eficiente e as respectivas poupanças energéticas da iluminação dos edifícios estudados encontram-se apresentados na seguinte figura.

Poupança Estimada de Energia em Iluminação

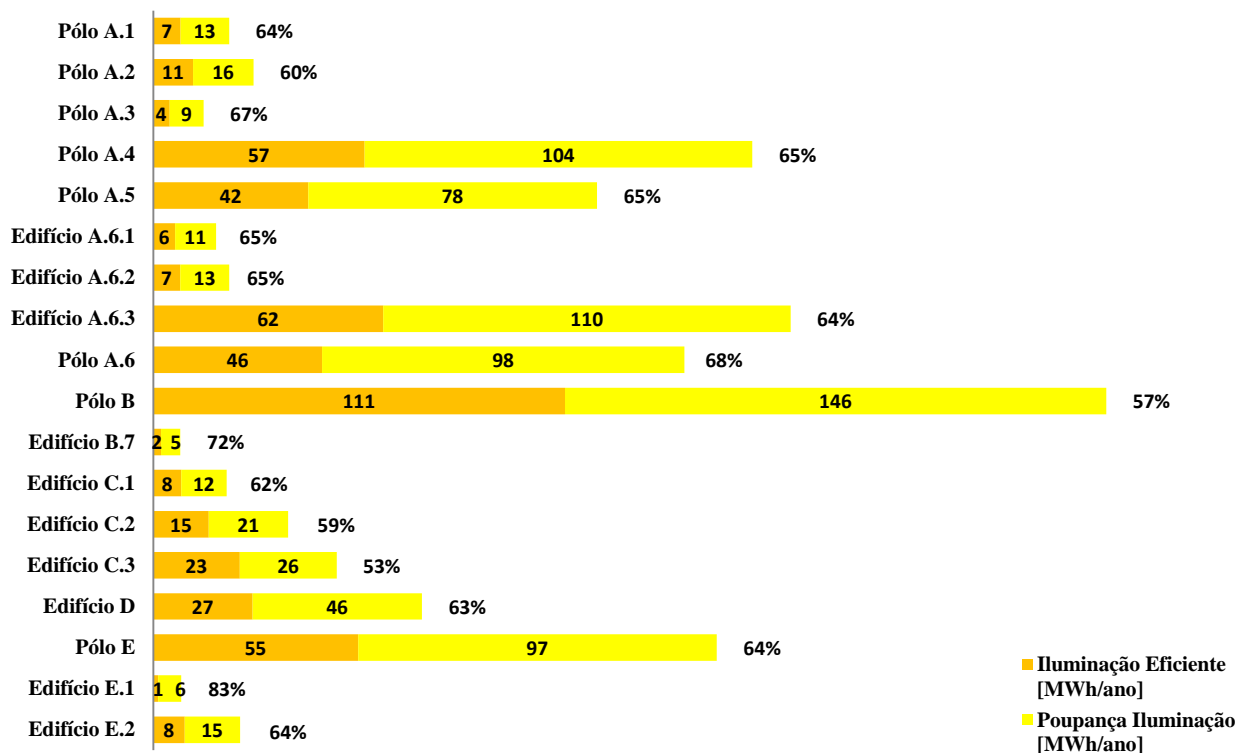


Figura 38: Poupança estimada de energia em iluminação para os edifícios caso de estudo através da substituição da iluminação existente por iluminação eficiente.

Conforme se pode observar no gráfico da Figura 38, as poupanças estimadas de energia em iluminação dos edifícios caso de estudo varia entre 53% e os 83%. A variação nas poupanças de energia dos edifícios deve-se ao tipo de lâmpada que existe actualmente nos casos de estudo e às horas de funcionamento da sua iluminação. Os edifícios caso de estudo que possuem maioritariamente iluminação do tipo fluorescente apresentam poupanças estimadas na ordem dos 60%.

4.2.2 Envolvente dos Edifícios

4.2.2.1.1 Fachada dos Edifícios

As soluções construtivas existentes para as fachadas dos edifícios caso de estudo variam de edifício para edifício. Os edifícios que apresentam uma fraca qualidade térmica das suas fachadas podem ser melhorados através da colocação de isolamento térmico exterior. As soluções construtivas existentes nas fachadas dos edifícios e as respectivas soluções construtivas com a aplicação de isolamento térmico exterior podem ser visualizadas na seguinte tabela:

Tabela 9: Constituição dos tipos de fachada existente nos edifícios caso de estudo antes e depois da aplicação de isolamento térmico exterior e respectivos valores dos coeficientes de transmissão térmica (U) expressos em $W/m^2 \cdot K$.

Edifício	Constituição da Fachada	[W/m2.K]	Constituição da Fachada	[W/m2.K]
Pólo A.1	Alvenaria de tijolo de blocos de betão normal 0,3m	1,9	Alvenaria de tijolo de blocos de betão normal 0,3m com 0,08m de EPS	0,4
Pólo A.1	Alvenaria de tijolo de blocos de betão normal 0,3m com azulejos	1,73	Alvenaria de tijolo de blocos de betão normal 0,3m com 0,08m de EPS	0,4
Pólo A.2	Pano de alvenaria em pedra 0,5/0,6 m	2,9	Pano de alvenaria em pedra 50/60 cm com 0,08m de EPS	0,42
Pólo A.2	Parede de betão 0,2m	3,60	Pano em laje de betão 0,2m com 0,08m de EPS	0,44
Pólo A.3	Pano de alvenaria em pedra 0,5/0,6 m	2,9	Pano de alvenaria em pedra 50/60 cm com 0,08m de EPS	0,42
Pólo A.4	Pano de alvenaria em pedra 0,5/0,6 m	2,9	Pano de alvenaria em pedra 50/60 cm com 0,08m de EPS	0,42
Pólo A.4	Pano de alvenaria em tijolo furado 0,24m	1,3	Pano de alvenaria em tijolo furado 0,24m com 0,08m de EPS	0,37
Pólo A.4	Pano em laje de betão 0,2m	3,60	Pano em laje de betão 0,2m com 0,08m de EPS	0,44
Pólo A.5	Parede dupla com isolamento entre blocos de betão normal	0,64	Parede dupla com isolamento blocos de betão normal	0,64
Edifício A.6.1	Pano de alvenaria em tijolo furado 0,24m	1,3	Pano de alvenaria em tijolo furado 0,24m com 0,08m de EPS	0,37
Edifício A.6.2	Pano de alvenaria em tijolo furado 0,24m	1,3	Pano de alvenaria em tijolo furado 0,24m com 0,08m de EPS	0,37
Edifício A.6.3	Parede dupla com isolamento entre blocos de betão normal	0,64	Parede dupla com isolamento entre blocos de betão normal	0,64
Pólo A.6	Pano de alvenaria em tijolo furado 0,24m	1,3	Pano de alvenaria em tijolo furado 0,24m com 0,08m de EPS	0,37
Pólo A.6	Pano de alvenaria em pedra 0,5/0,6 m	2,9	Pano de alvenaria em pedra 50/60 cm com 0,08m de EPS	0,42
Pólo A.6	Pano tijolo duplo 0,15m com caixa-de-ar entre eles	0,86	Pano tijolo duplo 0,15m com caixa-de-ar entre eles com 0,08m de EPS	0,73
Pólo B	Parede dupla com caixa-de-ar e isolamento térmico entre blocos de betão normal	0,38	Parede dupla com caixa-de-ar e isolamento térmico entre blocos de betão normal	0,38
Pólo B	Pano de alvenaria com caixa-de-ar e lâ de rocha	0,49	Pano de alvenaria com caixa-de-ar e lâ de rocha	0,49
Pólo B	Parede dupla de painel de sandwich com caixa-de-ar	0,32	Parede dupla de painel de sandwich com caixa-de-ar	0,32
Pólo B	Pano de alvenaria com caixa-de-ar e lâ de rocha	0,49	Pano de alvenaria com caixa-de-ar e lâ de rocha	0,49
Pólo B	Pano em alvenaria de tijolo furado com isolamento XPS	0,32	Pano em alvenaria de tijolo furado com isolamento XPS	0,32
Pólo B	Pano tijolo betão 0,15m com isolamento térmico exterior XPS	0,48	Pano tijolo betão 0,15m com isolamento térmico exterior XPS	0,48
Edifício B.7	Pano de alvenaria em pedra 0,5/0,6 m	2,09	Pano de alvenaria em pedra 50/60 cm com 0,08m de EPS	0,42
Edifício C.1	Pano de alvenaria em pedra 0,5/0,6 m	2,9	Pano de alvenaria em pedra 50/60 cm com 0,08m de EPS	0,42
Edifício C.2	Pano de alvenaria em tijolo furado 0,24m	1,3	Pano de alvenaria em tijolo furado 0,24m com 0,08m de EPS	0,37
Edifício C.3	Pano de alvenaria em tijolo furado 0,24m	1,3	Pano de alvenaria em tijolo furado 0,24m com 0,08m de EPS	0,37
Edifício D	Pano de alvenaria em pedra 0,5/0,6 m	2,9	Pano de alvenaria em pedra 50/60 cm com 0,08m de EPS	0,42
Pólo E	Pano tijolo duplo 0,15m com caixa-de-ar entre eles	0,86	Pano tijolo duplo 0,15m com caixa-de-ar entre eles com 0,08m de EPS	0,73
Edifício F.1	Pano tijolo betão 0,15m com isolamento térmico exterior XPS	0,48	Pano tijolo betão 0,15m com isolamento térmico exterior XPS	0,48
Edifício F.2	Pano tijolo duplo 0,15m com caixa-de-ar entre eles	0,86	Pano tijolo duplo 0,15m com caixa-de-ar entre eles com 0,08m de EPS	0,73

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica dos constituintes da fachada dos edifícios caso de estudo antes e depois da aplicação de isolamento térmico exterior foram obtidos através de dados do ITE 50 [60]. A escolha do poliestireno expandido (EPS) e a espessura de 0,08m foi feita de acordo com as propriedades deste material e ao facto de quanto maior a espessura do material mais resistência este apresenta à passagem de calor. As poupanças estimadas de energia resultantes da aplicação de isolamento térmico na superfície exterior na fachada dos edifícios caso de estudo podem ser vistas na seguinte figura.

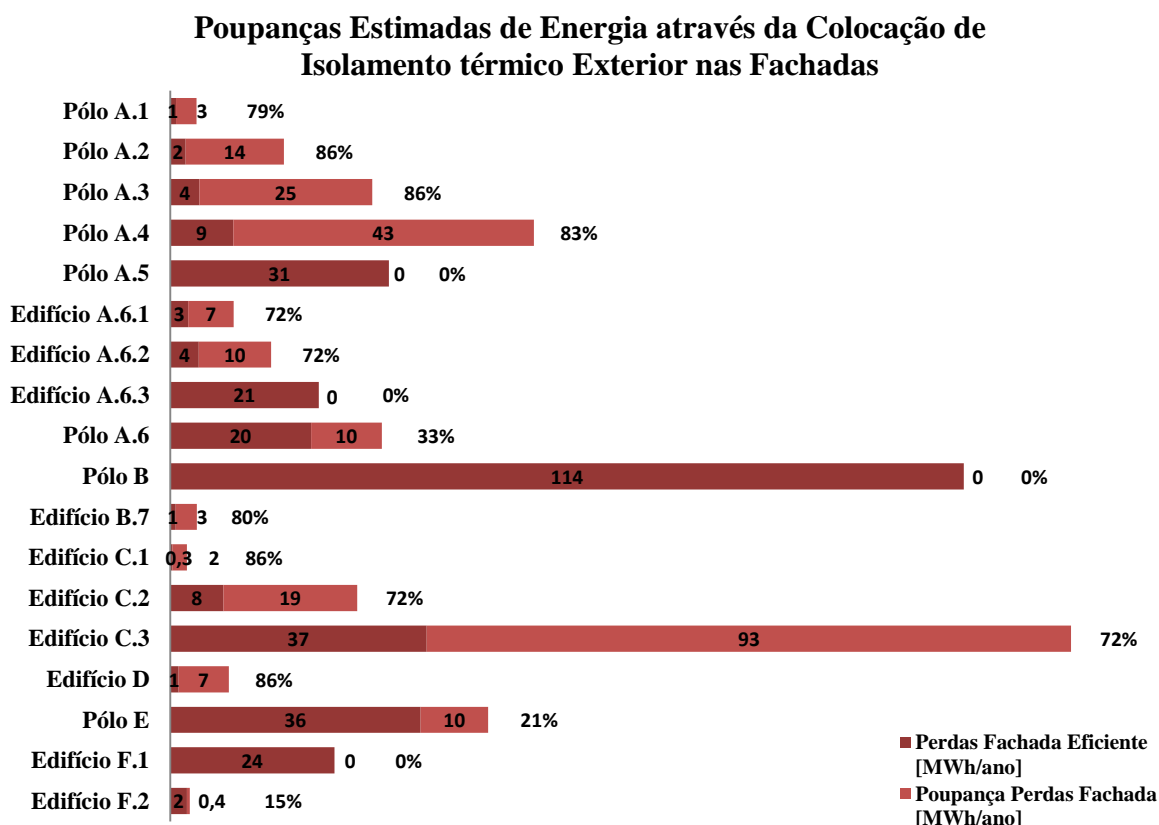


Figura 39: Poupança estimada de energia resultante da colocação de isolamento térmico exterior na fachada dos edifícios caso de estudo.

As poupanças estimadas de energia através da colocação de isolamento térmico exterior nas fachadas dos edifícios caso de estudo variam entre os 0% e os 86%. Os edifícios caso de estudo que já possuem isolamento térmico nas suas fachadas não possuem poupanças enquanto os edifícios que possuem fachadas constituídas ainda por alvenaria de pedra são os que apresentam maiores poupanças de energia. Portanto a decisão de aplicar este tipo de solução nas fachadas dos edifícios tem de ser feita analisando os edifícios caso a caso e não generalizando-a a todos os edifícios pois a sua aplicação pode não trazer grandes poupanças energéticas.

4.2.2.1.2 Cobertura dos Edifícios

As soluções construtivas existentes para as coberturas dos edifícios são em muitos destes edifícios bastante similares apesar de existirem alguns edifícios que possuem outro tipo de solução construtiva nomeadamente os de construção mais recente. Os edifícios mais antigos apresentam telhados de duas águas cujo seu desvão se encontra desocupado enquanto os edifícios mais recentes a maioria apresentam já terraços com isolamento térmico. Nos edifícios em que a cobertura não possui uma boa qualidade térmica recomenda-se a colocação de isolamento térmico. As soluções construtivas existentes nas coberturas dos edifícios e as respectivas soluções construtivas com a aplicação de isolamento térmico podem ser observadas na seguinte tabela:

Tabela 10: Constituição da cobertura existente nos edifícios caso de estudo antes e depois da aplicação de isolamento térmico e respectivos valores dos coeficientes de transmissão térmica (U) expressos em $W/m^2 \cdot K$.

Edifício	Constituição da Cobertura	[W/m2.K]	Constituição da Cobertura	[W/m2.K]
Pólo A.1	Laje maciça de betão 0,2m directamente sobre betonilha	2,50	Aplicação de 0,08m de XPS em laje maciça de betão 0,2m	0,40
Pólo A.1	Blocos de betão normal 0,33m	1,60	Aplicação de 0,08m de XPS em blocos de betão normal 0,33m	0,37
Pólo A.2	Laje em blocos cerâmicos 0,3m	1,70	Aplicação de 0,08m de XPS em laje de blocos cerâmicos 0,3m	0,45
Pólo A.2	Laje de betão maciço 0,2m	3,40	Aplicação de 0,08m de XPS em laje de betão maciço 0,2m	0,41
Pólo A.3	Laje em blocos betão normal 0,3m	2,10	Aplicação de 0,08m de XPS em laje em blocos betão normal 0,3m	0,38
Pólo A.4	Laje em blocos cerâmicos 0,3m	1,70	Aplicação de 0,08m de XPS em laje de blocos cerâmicos 0,3m	0,45
Pólo A.4	Laje de betão maciça de 0,2m	3,40	Aplicação de 0,08m de XPS em laje de betão maciço 0,2m	0,41
Pólo A.5	Laje com isolante entre estrutura contínua e tecto falso	0,58	Laje com isolante entre estrutura contínua e tecto falso	0,58
Edifício A.6.1	Laje em blocos cerâmicos 0,3m	1,70	Aplicação de 0,08m de XPS em laje de blocos cerâmicos 0,3m	0,45
Edifício A.6.2	Laje em blocos cerâmicos 0,3m	1,70	Aplicação de 0,08m de XPS em laje de blocos cerâmicos 0,3m	0,45
Edifício A.6.3	Laje aligeirada blocos de betão normal 0,35m protecção imper. pesada com isolamento	0,33	Laje aligeirada blocos de betão normal 0,35m protecção imper. pesada com isolamento	0,33
Pólo A.6	Laje em blocos cerâmicos 0,3m	1,70	Aplicação de 0,08m de XPS em laje de blocos cerâmicos 0,3m	0,45
Pólo A.6	Laje de betão maciço de 0,2m	3,40	Aplicação de 0,08m de XPS em laje maciça 0,2m	0,41
Pólo B	Laje em betão maciço com isolamento XPS 0,06m	0,60	Laje em betão maciço com isolamento XPS 0,06m	0,60
Pólo B	Laje aligeirada blocos de betão normal 0,35m protecção imper. pesada com isolamento	0,33	Laje aligeirada blocos de betão normal 0,35m protecção imper. pesada com isolamento	0,33
Pólo B	painel de sandwich	0,35	painel de sandwich	0,35
Pólo B	Laje aligeirada blocos de betão normal 0,35m protecção imper. pesada com caixa-de-ar e XPS	0,54	Laje aligeirada blocos de betão normal 0,35m protecção imper. pesada com caixa-de-ar e XPS	0,54
Edifício B.7	Laje em blocos cerâmicos 0,3m	1,70	Aplicação de 0,08m de XPS em laje de blocos cerâmicos 0,3m	0,45
Edifício C.1	Laje em blocos betão normal 0,3m	2,10	Aplicação de 0,08m de XPS em laje em blocos betão normal 0,3m	0,38
Edifício C.2	Laje em blocos betão normal 0,3m	2,10	Aplicação de 0,08m de XPS em laje em blocos betão normal 0,3m	0,38
Edifício C.3	Laje em blocos betão normal 0,3m	2,10	Aplicação de 0,08m de XPS em laje em blocos betão normal 0,3m	0,38
Edifício D	Esteira horizontal leve de madeira	3,80	Esteira horizontal leve de madeira com 0,08m de XPS	0,51
Pólo E	Laje aligeirada em blocos cerâmicos normal 0,35m e XPS de 0,06m	0,38	Laje aligeirada em blocos cerâmicos normal 0,35m e XPS de 0,06m	0,38
Edifício F.1	Laje aligeirada blocos de betão normal 0,35m protecção imper. pesada com caixa-de-ar e XPS	0,54	Laje aligeirada blocos de betão normal 0,35m protecção imper. pesada com caixa-de-ar e XPS	0,54
Edifício F.2	Laje aligeirada blocos de betão normal 0,35m protecção imper. pesada com caixa-de-ar e XPS	0,54	Laje aligeirada blocos de betão normal 0,35m protecção imper. pesada com caixa-de-ar e XPS	0,54

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica dos constituintes da cobertura dos edifícios caso de estudo antes e depois da aplicação de isolamento térmico exterior foram obtidos através de dados do ITE 50 [60]. A escolha do poliestireno extrudido (XPS) e a espessura de 0,08m foi feita de acordo com as propriedades deste material e ao facto de quanto maior a espessura do material mais resistência este apresenta à passagem de calor. As poupanças estimadas de energia resultantes da aplicação de isolamento térmico na cobertura dos edifícios caso de estudo podem ser observadas na seguinte figura:

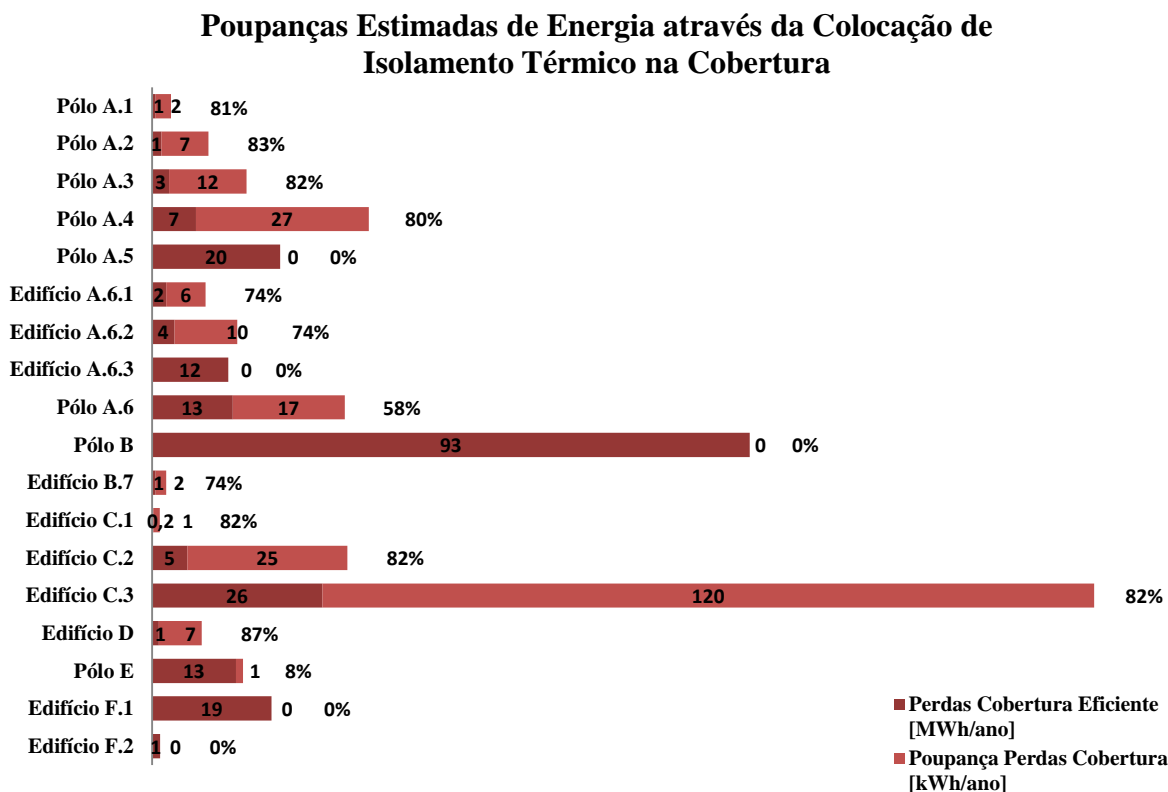


Figura 40: Poupança estimada de energia resultante da colocação de isolamento térmico na cobertura dos edifícios caso de estudo.

As poupanças estimadas de energia através da colocação de isolamento térmico na cobertura dos edifícios caso de estudo variam entre os 0% e os 87%. Os edifícios que já possuem isolamento térmico nas suas coberturas não possuem poupanças enquanto os edifícios que possuem coberturas constituídas por laje maciça de betão e cobertura de madeira são os que apresentam maiores poupanças de energia. Igualmente a decisão sobre aplicar isolamento térmico na cobertura tem de ser tomada analisando caso a caso os edifícios e não generalizando a solução a todos os edifícios pois a sua aplicação pode não trazer grandes poupanças energéticas para todos os edifícios estudados.

4.2.2.1.3 Vãos Envidraçados dos Edifícios

Os vãos envidraçados existentes nos edifícios caso de estudo variam conforme o ano em que foram instalados nos edifícios. Os edifícios caso de estudo mais antigos apresentam, na grande maioria dos casos, vãos envidraçados de vidro simples e caixilharia metálica ou de madeira sem corte térmico enquanto os edifícios de construção mais recente já apresentam vãos envidraçados de vidro duplo e caixilharia metálica com corte térmico. Nos edifícios constituídos por vãos envidraçados de vidro simples e para os vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia metálica sugere-se a sua substituição por vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia plástica com corte térmico. Os vãos envidraçados existentes nos edifícios caso de estudo e a respectiva solução de substituição podem ser visualizados na seguinte tabela:

Tabela 11: Constituição dos vãos envidraçados existentes nos edifícios caso de estudo antes e depois da instalação de vãos envidraçados eficientes e respectivos valores dos coeficientes de transmissão térmica (U) expressos em $W/m^2 \cdot K$.

Edifício	Constituição dos Vãos Envidraçados	[W/m2.K]	Constituição dos Vãos Envidraçados	[W/m2.K]
Pólo A.1	Vidro simples com caixilharia de metálica e abertura giratória	6,2	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Pólo A.2	Vidro simples com caixilharia de metálica e abertura giratória	6,2	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Pólo A.2	Vidro duplo com caixilharia de metálica e abertura giratória s/corte térmico	3,8	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Pólo A.3	Vidro simples com caixilharia de metálica e abertura giratória	6,2	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Pólo A.4	Vidro simples com caixilharia de madeira e abertura giratória s/ corte térmico	5,1	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Pólo A.4	Vidro simples com caixilharia de metálica e abertura giratória s/ corte térmico	6,2	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Pólo A.4	Vidro duplo com caixilharia de metálica e abertura giratória s/corte térmico	3,8	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Pólo A.5	Vidro duplo com caixilharia metálica e abertura giratória	3,3	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Edifício A.6.1	Vidro simples com caixilharia de metálica e abertura giratória s/ corte térmico	6,2	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Edifício A.6.2	Vidro simples com caixilharia de metálica e abertura giratória s/ corte térmico	6,2	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Edifício A.6.3	Vidro duplo com caixilharia metálica e abertura giratória c/ corte térmico	3,3	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Pólo A.6	Vidro simples com caixilharia de metálica e abertura giratória s/corte térmico	6,2	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Pólo B	Vidro duplo com caixilharia metálica e abertura giratória c/ corte térmico	3,3	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Edifício B.7	Vidro simples com caixilharia de metálica e abertura giratória s/ corte térmico	6,2	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Edifício C.1	Vidro simples com caixilharia de madeira e abertura giratória s/ corte térmico	5,1	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Edifício C.2	Vidro simples com caixilharia de metálica e abertura giratória	6,2	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Edifício C.3	Vidro duplo com caixilharia de metálica e abertura giratória c/ corte térmico	3,3	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Edifício D	Vidro simples com caixilharia de metálica e abertura giratória	6,2	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Pólo E	Vidro simples com caixilharia de metálica e abertura giratória	6,2	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Pólo E	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Pólo E	Vidro duplo com caixilharia de metálica e abertura giratória c/ corte térmico	3,3	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Edifício F.1	Vidro duplo com caixilharia de metálica e abertura giratória c/ corte térmico	3,3	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7
Edifício F.2	Vidro duplo com caixilharia de metálica e abertura giratória c/ corte térmico	3,3	Vidro duplo com caixilharia de plástico e abertura giratória c/ corte térmico	2,7

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados dos edifícios caso de estudo antes e depois da instalação de vãos envidraçados mais eficientes foram obtidos através de dados do ITE 50 [60]. As poupanças estimadas de energia resultantes da aplicação de isolamento térmico na cobertura dos edifícios caso de estudo podem ser observadas na seguinte figura:

Poupanças Estimadas através da Substituição dos Vãos Envidraçados Existentes por Vãos Envidraçados Eficientes

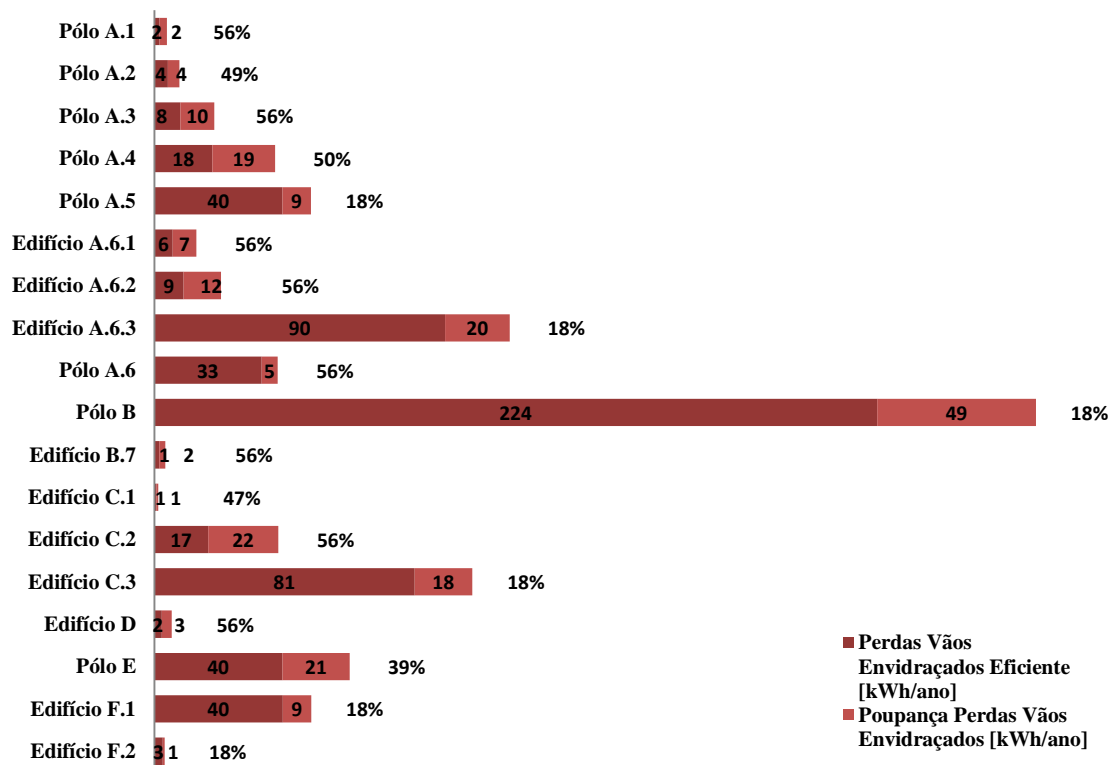


Figura 41: Poupança estimada de energia resultante da substituição dos vãos envidraçados existentes nos edifícios caso de estudo por outros mais eficientes.

As poupanças estimadas de energia através da substituição dos vãos envidraçados existentes por vãos envidraçados mais eficientes nos edifícios caso de estudo variam entre os 18% e os 56%. Os edifícios que já possuem vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia metálica com corte térmico são os que possuem menos poupanças de energia enquanto os vãos envidraçados de vidro simples e caixilharia metálica ou de madeira sem corte térmico apresentam maiores poupanças de energia. Uma vez mais é necessário avaliar caso a caso a viabilidade, em termos de poupanças de energia, da aplicação desta solução nos edifícios estudados e não generaliza-la para todos.

4.2.2.1.4 Poupanças Globais Estimadas da Envolvente dos Edifícios

A estimativa global das poupanças energéticas resultantes da colocação de isolamento térmico nas fachadas e coberturas e a substituição dos vãos envidraçados existentes por vãos envidraçados mais eficientes nos edifícios caso de estudo são mostradas na seguinte figura:

Poupança Estimada de Energia através da Melhoria da Qualidade Térmica da Envolvente

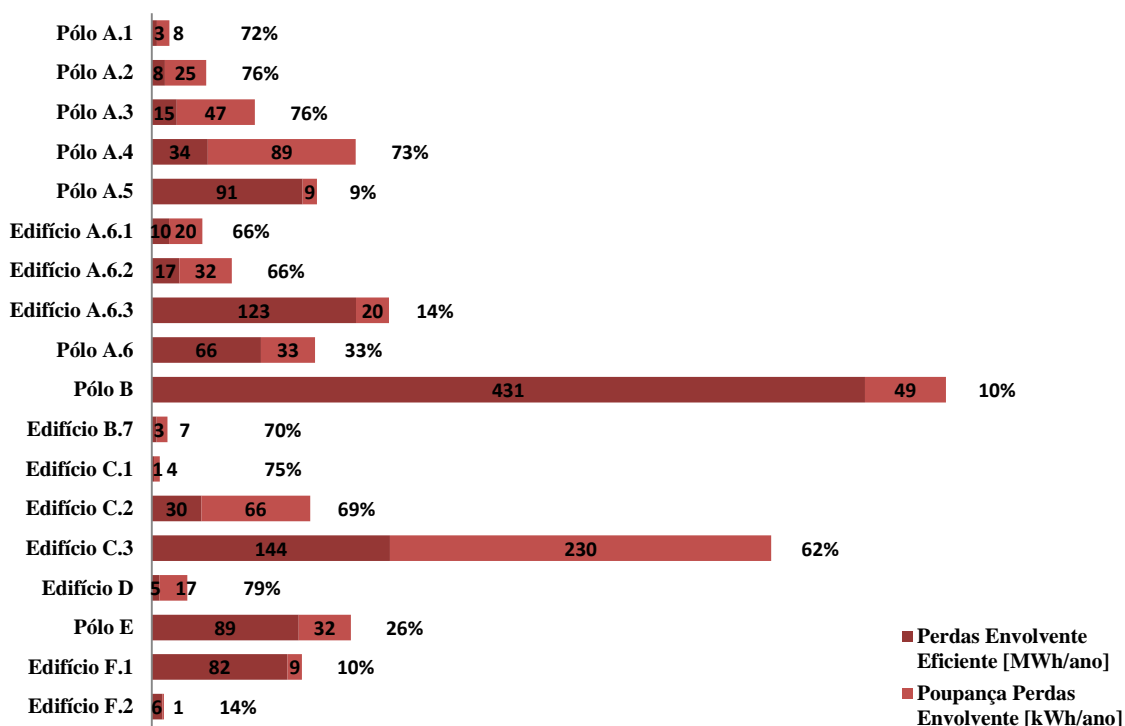


Figura 42: Poupança global estimada de energia através da melhoria da qualidade térmica da envolvente dos edifícios.

Através da Figura 42, é possível observar-se que as poupanças estimadas de energia decorrentes da melhoria térmica da envolvente dos edifícios caso de estudo variam entre os 9% e os 79%. Os edifícios caso de estudo que possuem baixas percentagens de poupança de energia correspondem a edifícios que já possuem uma boa qualidade térmica da sua envolvente enquanto os edifícios com grandes poupanças de energia correspondem a edifícios cujos seus elementos da envolvente possuem uma fraca qualidade térmica.

4.2.3 Equipamentos de Climatização

A energia consumida em climatização pode ser reduzida através da substituição dos equipamentos pouco eficientes existentes nos edifícios caso de estudo por outros que apresentem um melhor desempenho energético. Nos edifícios caso de estudo existem diferentes tipos de equipamentos de climatização com diferentes desempenhos energéticos. Na seguinte tabela encontram-se apresentados os tipos de equipamentos existentes nos edifícios caso de estudo e o número de espaços dos edifícios que cada um destes equipamentos climatiza.

Tabela 12: Tipo de equipamentos existentes e número de compartimentos que climatizam nos edifícios caso de estudo. O chiller/bomba de calor existente no edifício F.1 já é um equipamento eficiente e faz calor e frio.

Tipo de Equipamento Existente	Radiador Eléctrico	Ar Condicionado Mono-Split Convencional	Ar Condicionado Mono-Split Eficiente	Ar Condicionado Multi-Split/VRV Convencional	Ar Condicionado Multi-Split/VRV Eficiente	Chiller/bomba de Calor	Caldeira	Total de Compartimentos Climatizados
Pólo A.1	27	3	0	0	0	0	0	30
Pólo A.2	4	22	0	0	0	0	0	26
Pólo A.3	27	20	0	0	0	0	0	47
Pólo A.4	49	22	0	0	0	0	0	71
Pólo A.5	0	0	0	0	0	128	0	128
Edifício A.6.1	13	4	0	0	0	0	0	17
Edifício A.6.2	19	0	0	0	0	0	0	19
Edifício A.6.3	0	0	0	0	0	140	0	140
Pólo A.6	45	36	0	0	0	0	0	81
Pólo B	0	0	18	0	30	80	80	128
Edifício B.7	5	12	0	0	0	0	0	17
Edifício C.1	0	32	0	0	0	0	0	32
Edifício C.2	0	3	0	60	0	0	60	69
Edifício C.3	0	0	0	110	0	0	110	110
Edifício D	0	0	10	4	0	70	0	84
Pólo E	0	77	0	0	0	97	97	174
Edifício F.1	0	0	0	0	0	20*	0	20
Edifício F.2	15	12	0	0	0	0	0	27

Os compartimentos dos edifícios caso de estudo climatizados por dois tipos de equipamentos para as duas estações de climatização, isto é, a estação de aquecimento e arrefecimento apenas foram contabilizados uma vez. As poupanças energéticas estimadas resultantes da substituição dos equipamentos menos eficientes dos edifícios por outros de alto desempenho energético encontram-se apresentadas na seguinte figura:

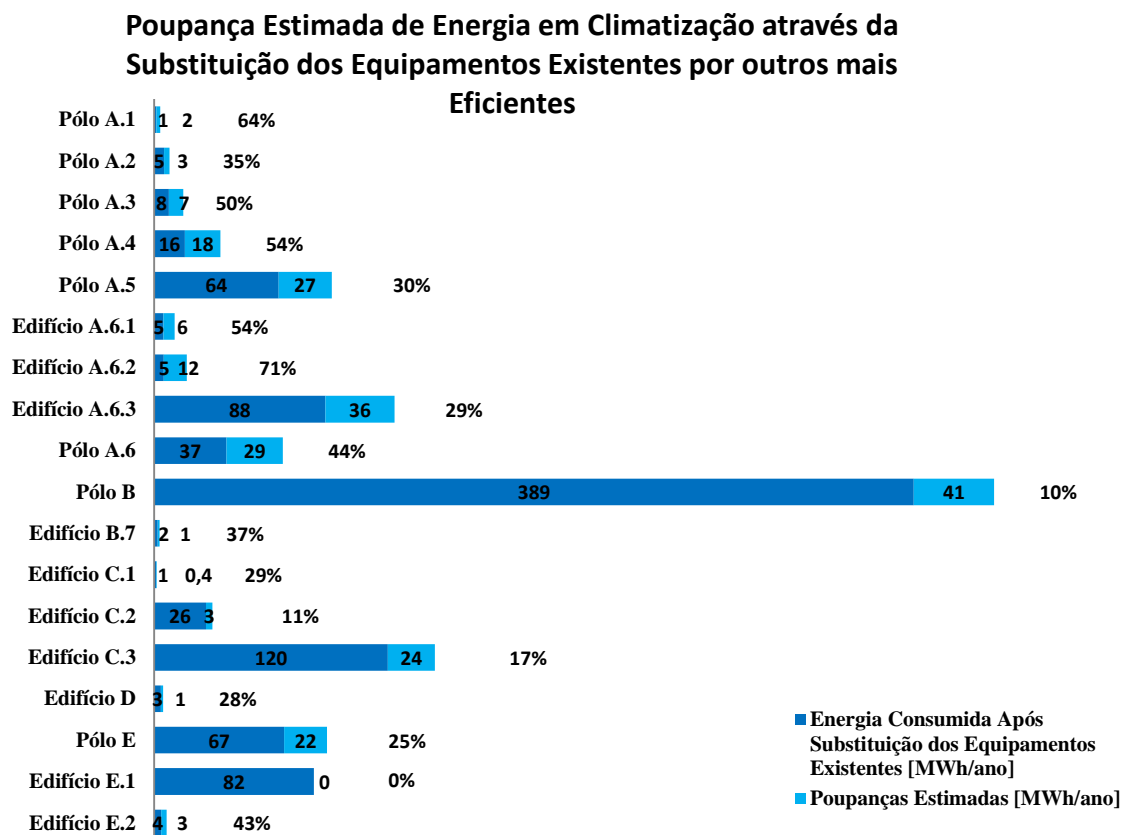


Figura 43: Poupança estimada em climatização através da substituição dos equipamentos de climatização pouco eficientes por outros de melhor desempenho energético.

Conforme se pode visualizar na Figura 43, as poupanças estimadas de energia em climatização obtidas fruto da substituição dos equipamentos existentes de baixo desempenho energético por outros mais eficientes variam entre os 0% e os 71%. As maiores poupanças estimadas de energia nos edifícios caso de estudo resultam da substituição de radiadores eléctricos por equipamentos de ar condicionado eficientes. Nos edifícios que não apresentam poupanças de energia deve-se ao facto de os mesmos já possuírem equipamentos de climatização eficientes.

4.2.4 Equipamentos de Produção de Águas Quentes Sanitárias

Os equipamentos de produção de águas quentes sanitárias dos edifícios correspondem essencialmente a caldeiras e termoacumuladores eléctricos. Os consumos de energia para este fim podem ser reduzidos através da substituição das caldeiras existentes por outras mais eficientes e através da substituição dos termoacumuladores por sistemas solar térmicos. Na seguinte tabela encontram-se apresentados os tipos de equipamentos, consumo e quantidade existentes nos edifícios caso de estudo que possuem consumo de águas quentes sanitárias.

Tabela 13: Tipo de equipamento existente para a preparação de águas quentes sanitárias e o seu respectivo tipo de consumo e quantidade.

Pólo/Edifício	Tipo de Equipamento	Tipo de Consumo	Quantidade
Pólo A.2	Caldeira a Gás Propano	Refeições	20 refeições/dia
Pólo B	Caldeira a Gás Natural	Refeições	300 refeições/dia
Edifício B.7	Termoacumulador Eléctrico de 200Litros	Banhos	15 banhos/dia
Pólo E	Caldeira a Gás Propano	Refeições/Banhos	200 refeições/dia e 50 banhos/dia
Edifício F.1	Caldeira a Gás Natural	Banhos	600 banhos/dia

As poupanças estimadas de energia que se pode obter pela substituição dos equipamentos menos eficientes existentes nos edifícios caso de estudo por outros de melhor desempenho energético encontram-se apresentadas na seguinte figura:

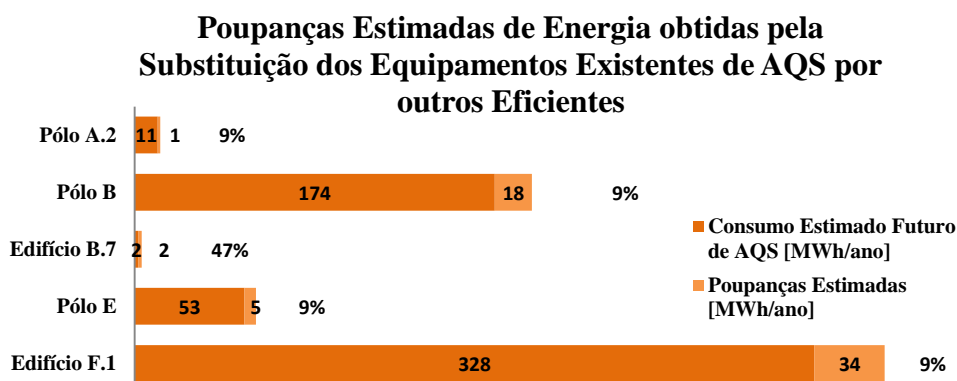


Figura 44: Poupança estimada de energia na produção de águas quentes sanitárias através da substituição dos equipamentos existentes nos edifícios caso de estudo por outros de melhor desempenho energético.

Por visualização da Figura 44, pode-se observar que as poupanças estimadas de energia para a produção de águas quentes sanitárias nos edifícios caso de estudo varia entre os 9% para a substituição das caldeiras existentes por outras mais eficientes e os 47% para a substituição do termoacumulador por um sistema solar térmico. As baixas poupanças obtidas pela substituição das caldeiras existentes por outras mais eficientes resultam da diferença de rendimentos entre as caldeiras existentes e as caldeiras mais eficientes não ser muito grande.

4.2.5 Poupanças Totais Estimadas de Energia

As poupanças totais estimadas de energia resultantes da substituição dos equipamentos existentes nos edifícios casos de estudo que apresentam algumas ineficiências por outros mais eficientes e a melhoria térmica das suas envolventes podem ser visualizadas na seguinte figura:

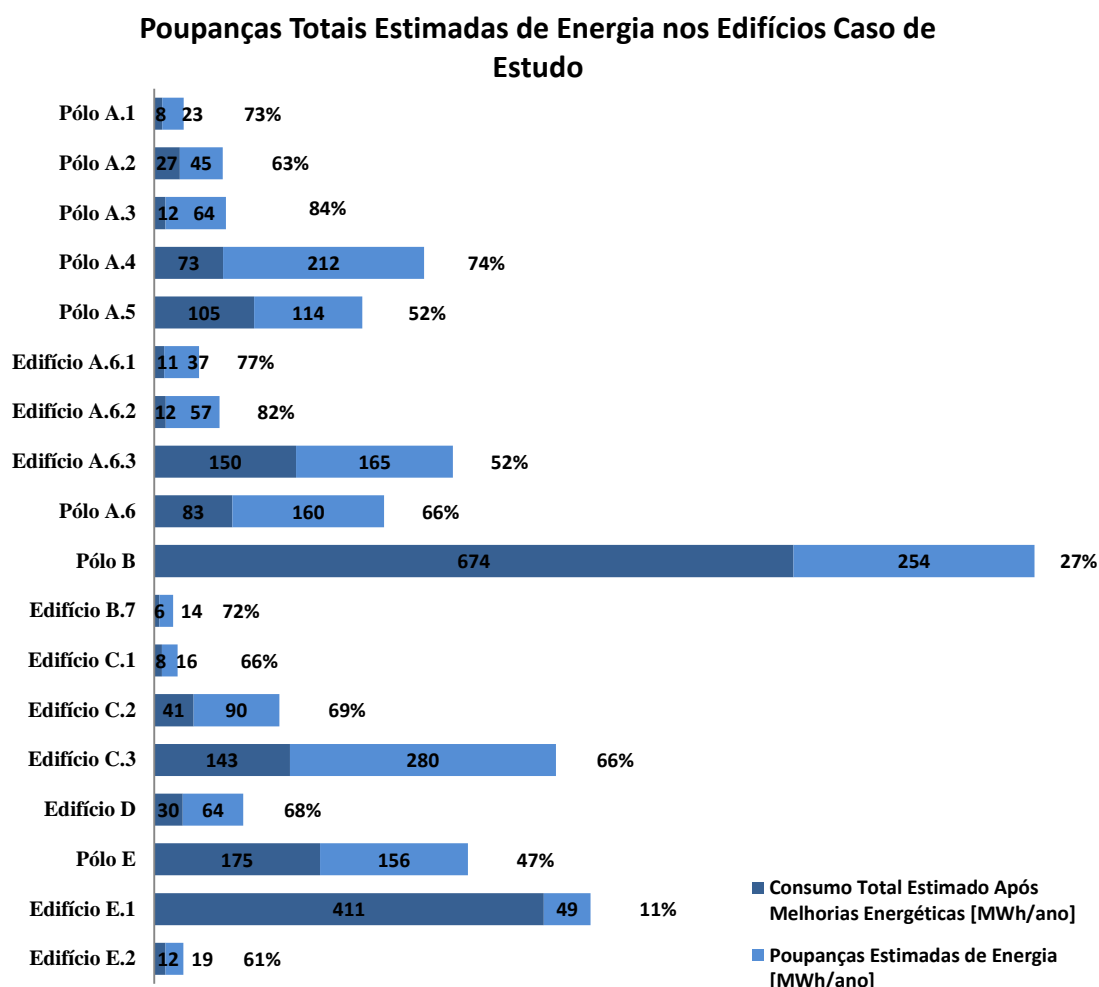


Figura 45: Poupanças totais estimadas para os edifícios caso de estudo após a substituição dos equipamentos pouco eficientes existentes por equipamentos eficientes e a melhoria térmica dos elementos da envolvente dos edifícios estudados.

Conforme se pode visualizar pela Figura 45, as poupanças totais estimadas de energia variam entre os 11% e os 82%. Os edifícios que apresentam menores percentagens estimadas de energia após as melhorias energéticas nas suas instalações correspondem aos edifícios de construção recente que possuem uma envolvente de boa qualidade térmica, equipamentos de climatização eficientes ou caldeiras. Os restantes edifícios de construção antiga sem qualquer tipo de melhoria térmica na sua envolvente e com equipamentos de iluminação e climatização pouco eficientes são os que apresentam maiores potenciais de poupança de energia sendo superiores a 60%. O edifício E.1 é o edifício que apresenta menor potencial de poupança estimada de energia pois é um edifício bastante eficiente que possui apenas a caldeira para preparação de águas quentes sanitárias como único equipamento a ser melhorado em termos de eficiência energética.

4.3 Comparação dos índices de Consumo com as Poupanças Estimadas

Os índices de consumo e as poupanças totais estimadas para os edifícios caso de estudo encontram-se apresentados no seguinte quadro síntese:

Tabela 14: Quadro síntese dos índices de consumo de energia e das poupanças totais estimadas dos edifícios caso de estudo.

Designação	Tipologia	Ano de Construção	Percentagem Estimada de Poupanças [%]	Índice de Consumo			
				Por Área de Pavimento [kWh/m ² · ano]		Por Ocupante [kWh/ocup · ano]	
				Antes	Depois	Antes	Depois
Pólo A.1	Laboratórios	1964/1990	73%	40,19	10,85	4688,60	1265,92
Pólo A.2	Laboratórios	1905/1992	63%	31,08	11,50	5158,90	1908,79
Pólo A.3	Laboratórios	1942/1992	84%	30,67	4,91	2675,80	428,13
Pólo A.4	Laboratórios	1920-1986	74%	67,36	17,51	11712,40	3045,22
Pólo A.5	Laboratórios	2001	52%	111,42	53,48	12442,10	5972,21
Pólo A.6	Laboratórios	1960-1990	66%	74,28	25,26	7259,60	2468,26
Edifício A.6.1	Laboratórios	1960	77%	78,53	18,06	23479,10	5400,19
Edifício A.6.2	Laboratórios	1960	82%	127,34	22,92	9253,60	1665,65
Edifício A.6.3	Laboratórios	2002	52%	123,83	59,44	7182,40	3447,55
Pólo B	Ensino Superior	2008-2015	27%	126,63	92,44	1004,18	733,05
Edifício B.7	Residência	1960	72%	53,61	15,01	1482,12	414,99
Edifício C.1	Escritórios	2ª Metade do Séc. XIX	66%	12,83	4,36	12833,00	4363,22
Edifício C.2	Ensino Superior	1989	69%	43,80	13,58	252,60	78,31
Edifício C.3	Ensino Superior	1970	66%	128,58	43,72	600,10	204,03
Edifício D	Escritórios	2ª Metade do Séc. XIX	68%	63,80	20,42	5912,40	1891,97
Pólo E	Ensino Superior	1989-2004	47%	69,56	36,87	691,50	366,50
Edifício F.1	Piscinas	2005	11%	385,44	343,04	2051,54	1825,87
Edifício F.2	Escritórios	1997	61%	30,99	12,09	1062,60	414,41
Classes de comparação dos Índices de Consumo de Energia entre Edifícios							
Classes	Valor Superior ao Edifício Típico	Valor do edifício Típico	Valor entre Edifício Típico e o Edifício Eficiente	Valor do Edifício Eficiente	Valor Inferior ao Edifício Eficiente		

A informação relativa aos índices de consumo de energia dos edifícios estudados e as respectivas poupanças mostra que na maior parte dos edifícios os consumos de energia por ocupante antes das melhorias de eficiência energética é superior ao de um edifício típico da sua tipologia mas que as potenciais poupanças estimadas variam de edifício para edifício. Ao aplicar-se as medidas de eficiência energética nos edifícios observou-se que os consumos por ocupante continuam a ser, na maior parte dos casos, superior ao de um edifício típico da sua tipologia o que pode indicar que nesses edifícios não existem boas práticas de consumo de energia. Por exemplo não utilizam a iluminação natural durante o dia nos compartimentos ocupados e deixam os equipamentos de climatização a funcionar interruptamente durante o período de ocupação do edifício, abrem as janelas dos compartimentos o que resulta em perdas de calor do compartimento para o exterior e a necessidade de ter os equipamentos de climatização para recuperar essa energia térmica perdida entre outros factores de comportamento dos ocupantes. O índice de consumo de área de pavimento aqui apenas se apresenta útil na medida em que fornece alguma informação sobre a distribuição do consumo de energia pela área total do edifício indicando que existem muitas áreas desses edifícios que não estão a ser utilizadas o que resulta em alguns edifícios em baixas densidades de energia por área de pavimento apesar de possuírem boas potencialidades em termos de poupanças energéticas. Portanto este índice não se torna tão interessante neste caso para ter uma noção de quais são os edifícios que consomem mais energia e quais os mais eficientes. Dos edifícios estudados apenas o edifício F.1 apresenta-se como um edifício eficiente pois tanto a nível de consumo de energia

por área de pavimento como por ocupante e a nível das potenciais poupanças estimadas de energia é o que possui melhores valores o que significa que de todos os edifícios estudados é o que menos necessita de medidas de eficiência energética. No entanto estima-se que os edifícios C.2 e F.2 após medidas de eficiência energética se convertam igualmente em edifícios eficientes.

5 Conclusões do trabalho

O presente trabalho teve por base a avaliação energética de edifícios da administração central e a identificação dos edifícios que possuem maiores consumos de energia e quais as suas potencialidades em termos de poupanças energéticas.

A utilização dos índices de consumo de energia por área de pavimento e por ocupante para análise dos edifícios estudados permitiu chegar à conclusão que o índice de consumo de energia por área de pavimento apresenta algumas limitações na identificação dos edifícios que possuem maiores e menores consumos de energia pois o valor fornecido por este índice contempla a área de pavimento total do edifício e não apenas as áreas do edifício onde efectivamente ocorre o consumo de energia. Através do índice de consumo de energia por ocupante concluiu-se que na generalidade os edifícios estudados possuem densidades de consumo de energia por ocupante superiores aos de edifícios típicos da sua tipologia.

O potencial de poupanças estimadas de energia é maior nos edifícios de construção antiga do que nos edifícios de construção recente. No entanto é importante não generalizar as soluções de poupança de energia para todos os edifícios pois mesmo em edifícios que tenham sido construídos na mesma altura possuem elementos que vão sendo melhorados ao longo do tempo e como tal resultam em diferentes potenciais de poupança estimada de energia.

A comparação dos índices de consumo de energia por ocupante com as potenciais poupanças estimadas de energia permite visualizar a influência que o comportamento dos ocupantes do edifício tem no seu consumo de energia. Esta observação é notória nos edifícios após as medidas de eficiência energética pois continuam a apresentar, na maior parte dos casos, valores de índice de consumo de energia por ocupante superior ao de um edifício típico da sua tipologia. Pode-se igualmente concluir que de todos os edifícios estudados apenas o edifício F.1 é eficiente e claramente o que menos necessidade tem de ser melhorado em termos energéticos. Os edifícios C.2 e F.2 são os que mais beneficiam com as medidas de eficiência energética pois estima-se que após essas melhorias se convertam em edifícios eficientes.

6 Referências Bibliográficas

- [1] União Europeia, Energia, Uma energia sustentável, segura e a preços acessíveis para os europeus, Comissão Europeia, Novembro de 2014.
- [2] Ahern C., Norton B. Energy savings across EU domestic building stock by optimizing hydraulic distribution in domestic space heating systems, *Energy and Buildings* 91 (2015) 199–209.
- [3] Kylili A., A. Fokaides P., European smart cities: The role of zero energy buildings, *Sustainable Cities and Society*, Volume 15, July 2015, Pages 86–95.
- [4] Directiva 2012/27/UE do parlamento europeu e do conselho de 25 de Outubro de 2012 relativa à eficiência energética, que altera as Directivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Directivas 2004/8/CE e 2006/32/CE.
- [5] POSEUR, Portugal 2020 [Online]. Available: <https://poseur.portugal2020.pt/pt/poseur/sobre-o-programa/>. [Accessed: 2-Fev-2017].
- [6] Legislação - Portaria n.º 57-B/2015 – D.R. n.º 41/2015, 1º Suplemento, Série 1 de 2015-02-27.
- [7] Directiva Europeia 2010/31/EU do parlamento europeu e do conselho de 19 de Maio de 2010 sobre o desempenho energético dos edifícios, 2010.
- [8] Wang L., Gwillian J., Jones P., Case study of zero energy house design in UK, *Energy and Buildings*, Volume 41, Issue 11, November 2009, Pages 1215–1222.
- [9] Szalay Z., Zold A., Definition of nearly zero-energy building requirements based on a large building sample, *Energy Policy*, Volume 74, November 2014, Pages 510–521.
- [10] Decreto-Lei n.º 118/2013 D.R. n.º. 159, Série I, Aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, e transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.
- [11] Sierra-Pérez J., Boschmonart-Rives, Gabarrell X., Environmental assessment of façade-building systems and thermal insulation materials for different climatic conditions, *Journal of Cleaner Production*, Volume 113, 1 February 2016, Pages 102–113.
- [12] Park B., Srubar III W., Krarti M., Energy performance analysis of variable thermal resistance envelopes in residential buildings, *Energy and Buildings*, Volume 103, 15 September 2015, Pages 317–325.
- [13] Sulakatkoa V., Liismaa E., Soekova E. Increasing Construction Quality of External Thermal Insulation Composite System (ETICS) by Revealing on-site Degradation Factors. *Procedia Environmental Sciences* 38 (2017) 765 – 772.
- [14] Claribel Fernandes C., de Brito J., Oliveira Cruz C. Architectural integration of ETICS in building rehabilitation. *Journal of Building Engineering* 5 (2016) 178–184.

- [15] Tavares P., Bernardo H., Gaspar A., Martins A., Control criteria of electrochromic glasses for energy savings in mediterranean buildings refurbishment, *Solar Energy*, Volume 134, September 2016, Pages 236–250.
- [16] F.A. Afonso C., Recent advances in building air conditioning systems, *Applied Thermal Engineering*, Volume 26, Issue 16, November 2006, Pages 1961–1971.
- [17] Yamaguchi Y., Miyachi Y., Shimoda Y., Stock modelling of HVAC systems in Japanese commercial building sector using logistic regression. *Energy and Buildings* 152 (2017) 458–471.
- [18] A. Chwieduk D., Towards modern options of energy conservation in buildings, *Renewable Energy*, Volume 101, February 2017, Pages 1194–1202.
- [19] Liu J., Zhang W., Chu X., Liu Y., Fuzzy logic controller for energy savings in a smart LED lighting system considering lighting comfort and daylight, *Energy and Buildings*, Volume 127, 1 September 2016, Pages 95–104.
- [20] Ma H., Lu W., Yin L., Shen X., Public Building Energy Consumption Level and Influencing Factors in Tianjin, *Energy Procedia* 88 (2016) 146 – 152.
- [21] Monteiro Silva S., Mateus R., Marques L., Ramos M., Almeida M., Contribution of the solar systems to the nZEB and ZEB design concept in Portugal – Energy, economics and environmental life cycle analysis, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 156, November 2016, Pages 59–74.
- [22] Greening B., Azapagic A., Domestic solar thermal water heating: A sustainable option for the UK?, *Renewable Energy*, Volume 63, March 2014, Pages 23–36.
- [23] *Térmica de Edifícios*. A. Moret Rodrigues, A. Canha Piedade, A. Braga. Ed. Orion, 1ª edição.
- [24] Legislação - Portaria n.º 349-B/2013.
- [25] *Introdução à combustão. Conceitos e aplicações*, S. Turns, Ed. McGrawHill/Bookman, 3ª edição.
- [26] Petrobrás - Fórmulas de conversão [Online]. Available: <http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/destaques-operacionais/formulas-de-conversao>. [Accessed: 07-Nov-2017].
- [27] Catálogo Philips-Iluminação CorePro LEDbulb 13-100W 840 E27 [Online]. Available: <http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp929001179402-pss-global>. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [28] Catálogo Philips-Iluminação CorePro LEDbulb 10.5-75W E27 830 [Online]. Available: <http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp929000249462-pss-global>. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [29] Catálogo Philips-Iluminação CorePro LEDbulb 9-60W 865 E27 [Online]. Available: <http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp929001163702-pss-global>. [Accessed: 10-Nov-2017].

- [30] Catálogo Philips-Iluminação MAS LED spot VLE D 4.9-50W GU10 927 60D [Online]. Available: http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp929001349102-pss-pt_pt. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [31] Catálogo Philips-Iluminação MAS LED spot VLE DT 3.7-35W GU10 927 36D [Online]. Available: http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp929001350002-pss-pt_pt. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [32] Catálogo Philips – Iluminação [Online]. Available: <https://www.philips.pt/c-p/8718696766767/led-lampada/especificacoes> [Accessed: 15-Nov-2017].
- [33] Catálogo Philips – Iluminação [Online]. Available: <https://www.philips.pt/c-p/8718696766804/led-lampada/especificacoes> [Accessed: 15-Nov-2017].
- [34] Catálogo Philips – Iluminação [Online]. Available: <https://www.philips.pt/c-p/8718696706831/led-lampada/especificacoes> [Accessed: 15-Nov-2017].
- [35] Catálogo Philips-Iluminação MAS LEDtube VLE 600mm 10W830 T8C ROT [Online]. Available: http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp929001126402-pss-pt_pt. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [36] Catálogo Philips-Iluminação LEDtube Universal T8 [Online]. Available: http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/comf6260804-pss-pt_pt. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [37] Catálogo Philips-Iluminação MAS LEDtube HF 600mm HE 8W 830 T5 [Online]. Available: http://www.lighting.philips.pt/prof/lampadas-e-tubos-led/tubos-led/master-ledtube-instantfit-hf-t5/929001390702_EU/product. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [38] Catálogo Philips-Iluminação MAS LEDtube HF 1200mm HO 26W 830 T5 [Online]. Available: http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp929001338302-pss-pt_pt. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [39] Catálogo Philips-Iluminação MAS LEDtube HF 1500mm HO 26W 830 T5 [Online]. Available: http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp929001296102-pss-pt_pt. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [40] Catálogo AL - Fábrica de material eléctrico, S.A – Iluminação de Emergência [Online]. <http://www.al-sa.pt/pt-pt/Produtos/StoreCAT/List/0/CategoryID/1101/Level/a> [Accessed: 15-Nov-2017].
- [41] Catálogo Philips-Iluminação BVP650 LXTECO 6000/NW PSU OFA52 ALU [Online]. Available: http://www.lighting.philips.com.eg/prof/outdoor-luminaires/sports-and-area-floodlighting/area-and-recreational-floodlighting/clearflood/912300022764_EU/product. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [42] Catálogo Philips-Iluminação BVP650 LXTECO 12000/NW PSU OFA52 ALU [Online]. Available: http://www.lighting.philips.com.eg/prof/outdoor-luminaires/sports-and-area-floodlighting/area-and-recreational-floodlighting/clearflood/912300022767_EU/product. [Accessed: 10-Nov-2017].

- [43] Catálogo Philips-Iluminação BVP650 LXTECO 24000/NW PSU S ALU [Online]. Available: http://www.lighting.philips.com.eg/prof/outdoor-luminaires/sports-and-area-floodlighting/area-and-recreational-floodlighting/clearflood/912300022761_EU/product. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [44] Catálogo Philips-Iluminação BVP650 LXTECO 29000/NW PSU OFA52 ALU [Online]. Available: http://www.lighting.philips.com.eg/prof/outdoor-luminaires/sports-and-area-floodlighting/area-and-recreational-floodlighting/clearflood/912300022775_EU/product. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [45] Catálogo Philips-Iluminação BDS660 GRN15-3S/740 PSR I MDM D9 60 [Online]. Available: http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp910925863345-pss-pt_pt. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [46] Eleftheriadou A., Sfetsos A., Gounaris N. The suitability of high resolution downscaled seasonal models for the energy assessment of the building sector. *Energy and Buildings* 111 (2016) 176–183.
- [47] Legislação - Despacho n.º 15793-I/2013.
- [48] Baglivo C., Congedo M. P., Fazio A., Laforgia D. Multi-objective optimization analysis for high efficiency external walls of zero energy buildings (ZEB) in the Mediterranean climate. *Energy and Buildings* 84 (2014) 483–492.
- [49] Informação sobre o SOLTERM 5.2, Versão 1.9, Agosto de 2016.
- [50] Legislação - Despacho nº15793-F/2013.
- [51] Huovila A., Tuominen P., Airaksinen M. Effects of Building Occupancy on Indicators of Energy Efficiency. *Energies Article*.
- [52] Energy Use in government laboratories. Energy consumption guide 83. Action Energy.
- [53] Ventilation for acceptable indoor air quality. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013.
- [54] LEITAT&SEA. D2.2. Integrated report. Energy audits and Energy Performance Certification. Step2Sport. November 2014.
- [55] Legislação - Decreto-Lei nº 79/2006.
- [56] Aelenei L., Gonçalves H. From solar building design to Net Zero Energy Buildings: performance insights of an office building. *Energy Procedia* 48 (2014) 1236 – 1243.
- [57] Gaitani N., Cases L., Mastrapostoli E., Eliopoulou E. Paving the way to nearly zero energy schools in Mediterranean region- ZEMedS project. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015. *Energy Procedia* 78 (2015) 3348 – 3353.
- [58] Chun Wang J. A study on the energy performance of school buildings in Taiwan. *Energy and Buildings* 133 (2016) 810–822.

[59] Badea A., Baracu T., Dinca C., Tutica D., Grigore R., Anastasiu M. A life-cycle cost analysis of the passive house “POLITEHNICA” from Bucharest. *Energy and Buildings* 80(2014)542–555.

[60] Santos, C. A. Pina dos; L., ITE 50 – Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Versão actualizada 2006, LNEC, Lisboa, 2008.